

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo Estructurado de Manera Independiente, Previo a la
Obtención del Título de Ingeniera Mecánica**

TEMA:

Estudio del Comportamiento a Fatiga Mecánica de Polímeros
Compuestos con Fibra Natural y su Incidencia en la Aplicación para la
Fabricación de Accesorios de la Industria Carrocera.

Egda. Verónica Elizabeth Morocho Toaza

AUTOR:

Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

TUTOR:

Ambato – Ecuador

2013

CERTIFICACION

En mi calidad de director de tesis de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“Estudio del comportamiento a fatiga mecánica de Polímeros Compuestos con fibra natural y su incidencia en la aplicación para la fabricación de accesorios de la Industria Carrocera”**; elaborado por la Sta. Verónica Elizabeth Morocho Toaza, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente Tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Julio 2013

.....
Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

Director de Tesis

AUTORÍA DE LA TESIS

En el contenido del presente trabajo sus criterios, así como sus ideas, opiniones, resultados y análisis, son responsabilidad exclusiva de su autor.

Ambato, Julio 2013

.....

Verónica Elizabeth Morocho Toaza

C.I 180414038-0

DEDICATORIA

Al concluir con esta tesis, también significa el terminó de una etapa más de mi vida en la que me ha traído buenas experiencias pero sobre todo me ha enseñado a valorar la oportunidad que se me dio al poder estudiar una carrera universitaria, es por eso que la dedico:

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y por darme la fuerza necesaria avanzar y no rendirme.

A mi mamá Adela Toaza por ser mi mayor inspiración y mi apoyo en todos los aspectos de mi vida, quien a pesar de la distancia supo guiarme.

A mis hermanas Anita, Cristina, Jenny a toda mi familia y a mis amigos que siempre estuvieron a mi lado en los buenos y malos momentos, más que con una palabra incluso con acciones que sean grabado en mi corazón y en esas acciones se refleja el gran aprecio de su parte.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien en todo momento supo levantarme y darme fuerzas para seguir en cada etapa de mi vida universitaria hasta el término de esta investigación, a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por brindarme sus conocimientos para poder desenvolverme en el campo profesional, a mi tutor Ing. Mg. Jorge Guamanquispe por sus enseñanzas y consejos recibidos a lo largo del desarrollo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

Páginas Preliminares

TEMA:	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	vi
CONTENIDO DE FIGURAS	xv
CONTENIDO DE TABLAS	xviii
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xx
RESUMEN EJECUTIVO	xxii
CAPÍTULO I	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis Crítico	3

1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Preguntas directrices.	4
1.2.6 Delimitación del problema.....	4
1.2.6.1 De Contenido.....	4
1.2.6.2 Espacial.....	4
1.2.6.3 Temporal.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 General.....	6
1.4.2 Específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	8
2 MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes investigativos.....	8
2.2 Fundamento teórico.....	10
2.2.1 Introducción a los polímeros.....	10
2.2.2 Generalidades.....	10
2.2.3 Propiedades de los Polímeros.....	11
2.2.3.1 Propiedades físicas de los polímeros.....	11
2.2.3.3 Propiedades mecánicas.....	12
2.2.4 Clasificación de los Polímeros.....	12

2.2.4.1 Polímeros Termoestables	12
2.2.5 Introducción a los Materiales Compuestos	14
2.2.5.1 Materiales compuestos de matriz termoestable	15
2.2.5.2 Estructura	21
2.2.6 Falla de materiales poliméricos.....	22
2.2.6.1 Deformación elástica.	23
2.2.6.2 Deformación plástica y punto de fluencia.....	23
2.2.6.4 Rotura.....	24
2.2.6.5 Fatiga.....	24
2.2.7 Mecanismos de falla por fatiga en los compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra	25
2.2.7.1 Comportamiento Macroscópico.....	25
2.2.7.2 Comportamiento Microscópico.....	27
2.2.8 Ensayos Mecánicos	27
2.2.8.1 Ensayo de fatiga en Polímeros	28
2.2.9 Curva S-N.....	29
2.9.1 Resistencia a la fatiga en la zona de bajo ciclaje	31
2.9.2 Resistencia a la fatiga en la zona de alto ciclaje	32
2.2.10 Normas para ensayos a fatiga y para probetas de polímeros	32
2.2.10.1 Clases de probetas para polímeros según norma ASTM D63 32	
2.2.10.2 Procesos de fabricación de piezas o partes con matriz polimérica y refuerzo de fibras.....	35

2.2.10.3 Desarrollo del ensayo bajo la Norma ASTM D 638	36
2.2.11 Máquina para realizar el ensayo a fatiga.....	37
2.2.12 Uso de polímeros para la fabricación de accesorios de la industria carrocera. 38	
2.3 Fundamentación Filosófica	38
2.4 Fundamentación Legal	40
2.5 Categorías Fundamentales.....	41
2.6 Hipótesis.....	41
2.7 Señalamiento de Variables de la Hipótesis	41
2.7.1 Variable independiente	41
2.7.2 Variable dependiente	41
CAPÍTULO III.....	42
3 METODOLOGÍA.....	42
3.1 Enfoque	42
3.2 Modalidad Básica de la Investigación	43
3.2.1 Modalidad de la Investigación.....	43
3.2.1.1 Investigación de Campo.....	43
3.2.1.2 Investigación Bibliográfica.....	43
3.2.1.3 Investigación Experimental	43
3.3 Nivel o Tipo de Investigación	44
3.3.1 Exploratoria.....	44
3.3.2 Descriptiva.....	44

3.3.2 Experimental.....	44
3.4 Población y Muestra.....	44
3.4.1 Población.....	44
3.4.2 Muestra.....	45
3.5 Operacionalización de Variables.....	47
3.6 Recolección de la Información.....	49
3.7 Procesamiento y Análisis.....	50
3.7.1 Plan de procesamiento.....	50
3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.....	50
CAPÍTULO IV.....	52
4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.1 Determinación de Parámetros de Investigación.....	52
4.1.1 Determinación del Tamaño de la muestra.....	52
4.1.2 Verificación de la frecuencia de aplicación de esfuerzo.....	52
4.1.3 Relación de Esfuerzos.....	53
4.1.4 Análisis de Deflexión.....	55
4.2 Elaboración de Probetas.....	58
4.2.1.1 Metodología Experimental.....	58
4.2.1.2 Objetivos.....	59
4.2.1.3 Materiales y equipos para fabricar probetas, desarrollo del ensayo.....	59
4.2.1.4 Procedimiento.....	61

4.2.1.5 Desarrollo del ensayo a fatiga por tracción	64
4.3 Registro de Datos	66
4.3.1 Datos de Deflexión	66
4.3 Análisis Estadístico de los Ensayos con Probetas de Resina Poliéster y Fibra de Cabuya	67
4.3.1 Tabla Esfuerzo – Número de ciclos	67
4.3.2 Regresión S vs log N	69
4.3.3 Intervalos de Confianza	73
4.3.3.1 Intervalos de confianza para la media poblacional con muestras grandes	73
4.4 Comprobación de la hipótesis.....	74
4.5 Metodología Experimental para la construcción de un accesorio para la industria carrocera	78
4.5.1 Objetivos.....	78
4.5.2 Materiales para fabricar un accesorio para la Industria carrocera ..	78
4.5.3 Procesos utilizados para construir piezas o accesorios de polímeros reforzados con fibras (naturales o artificiales).....	79
CAPÍTULO V	81
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1 Conclusiones	81
5.2 Recomendaciones.....	84
CAPÍTULO VI	86
6. PROPUESTA	86

6.1 Datos Informativos	86
6.2 Antecedentes de la Propuesta	88
6.3 Justificación	89
6.4 Objetivos.....	89
6.4.1 Objetivo General	89
6.4.2 Objetivos Específicos	89
6.5 Análisis de Factibilidad.....	90
6.6 Fundamentación	90
6.6.1 Determinación de Parámetros de Funcionamiento.....	90
6.6.2 Funcionamiento de la Máquina	92
6.6.3 Diseño y Selección de los Elementos.....	93
6.6.3.1 Dimensionamiento del Disco	93
6.6.3.2 Dimensionamiento del Balancín	96
6.6.3.3 Dimensionamiento de la Biela	101
6.6.3.4 Selección del Rodamiento.....	106
6.6.3.5 Dimensionamiento Soporte para mordaza inferior y superior	108
6.6.3.6 Dimensionamiento de la Mordaza	110
6.6.3.7 Bancada.....	110
6.6.3.8 Diseño de Juntas de soldadura	116
6.7 Metodología, Modelo Operativo	117
6.7.1 Disco.....	118

6.7.2 Balancín.....	119
6.7.3 Biela.....	120
6.7.4 Soporte de Mordazas	122
6.7.5 Carril de Mordaza Inferior.....	122
6.7.6 Soporte de Mordaza Superior	123
6.7.7 Unión entre carril y biela.....	123
6.7.8 Mordazas	124
6.7.9 Base del motor	125
6.7.10 Bancada.....	125
6.7.11 Máquina y equipo utilizado.....	126
6.8 Administración	127
6.8.1 Costos Directos.....	127
6.9 Previsión de la Evaluación	130
BIBLIOGRAFÍA.....	132
1. ANEXO A.....	135
2. ANEXO B.....	136
3. ANEXO C.....	137
4. ANEXO D.....	138
5. ANEXO E.....	139
6. ANEXO F	140
7. ANEXO G	141

8. ANEXO H.....	142
9. ANEXO I	143
10. ANEXO J	144
11. ANEXO K.....	145
12. ANEXO L	146
13. ANEXO M	147
14. ANEXO N.....	148

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura1.1 Diagrama Esfuerzo deformación.....	6
Figura2.1. Fibra de cabuya tejida.....	18
Figura 2.2. Fibra de cabuya.....	19
Figura 2.3. Formación de un compuesto por fibras y resina.....	20
Figura 2.4. Cascarilla de arroz.....	21
Figura 2.5. Formación de un compuesto por fibras y resina.....	21
Figura 2.6 Evolución del daño en fatiga	26
Figura 2.7 Pérdida de adherencia a lo largo de las fibras.....	27
Figura 2.8 Curva S- N.....	29
Figura 2.9 Curva S- N características.....	31
Figura 2.10 Clases de probetas.....	33
Figura 2.11 Grueso máximo de la Probeta.....	34
Figura 2.12 Máquina de ensayo a fatiga.....	37
Figura 2.13 Perspectivas de uso de polímeros compuestos con fibra natural.....	38
Figura.4.1 Carga cíclica típica de periodo T.....	53
Figura.4.2 Deformación de la probeta.....	55
Figura.4.3 Variación del Esfuerzo.....	55
Figura.4.4 Probeta dimensiones requeridas.....	56
Figura.4.5 Esfuerzo máximo a la tracción de materiales compuestos de abacá poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra.....	62
Figura.4.6 Preparación de resina poliéster.....	63
Figura.4.7 Resina compuesta con fibra de cabuya.....	64
Figura.4.8 Molde de macho-hembra.....	64
Figura.4.9 Esfuerzo vs Número de Ciclos.....	68
Figura.4.10 Esfuerzo vs Log Número de Ciclos.....	68
Figura.4.11 Esfuerzo ($\log \sigma$) vs Log Número de Ciclos.....	69
Figura.4.12 Esfuerzo Corregido vs Log Número de Ciclos.....	72
Figura.4.13 Esfuerzo Corregido vs Log de Número de Ciclos.....	75

Figura.4.14 Curva esfuerzo vs Número de ciclos para configuraciones de materiales compuestos de fibra vidrio, carbono y resina poliéster.....	75
Figura.4.15 Esfuerzo Corregido vs Log Número de Ciclos.....	76
Figura.4.16 Elaboración de un accesorio para carrocería con fibra de cabuya.....	80
Figura.4.17 Accesorio para Carrocería	80
Figura.5.1 Falla de probeta con aserrín.....	81
Figura.5.2 Falla de probeta con fibra de cabuya.....	82
Figura.5.3 Falla de probeta con fibra de cabuya.....	82
Figura.5.4 Falla de probeta con Aserrín.....	83
Figura.5.5 Falla de probeta con Cascarilla de arroz.....	83
Figura.5.6 Soporte de codera	84
Figura. 6.1 Máquina para ensayos de flexión plana modelo BSS-40H.....	87
Figura. 6.2 Máquina Universal Trayvou para ensayo a tracción de polímeros.....	87
Figura 6.3 Clases de probetas para polímeros rígidos.....	88
Figura 6.4 A y B Mecanismo de la máquina de ensayos.....	91
Figura.6.5 Diagrama de aplicación de fuerzas constante y variable.....	92
Figura.6.6 Estructura de la máquina.....	92
Figura.6.7 Estructura completa de la máquina	93
Figura.6.8 Arrancador del motor y circuito electrónico para contar el número de ciclos	93
Figura.6.9 Disco.....	94
Figura.6.10 Parámetros para calcular la inercia de un disco.....	94
Figura.6.11 Balancín dimensiones.....	97
Figura.6.12 Biela dimensiones.....	101
Figura.6.13 Soporte para carril de mordaza inferior.....	108
Figura.6.14 Mordaza dimensiones.....	110
Figura.6.15 Esquema de la Bancada	111
Figura.6.16 Representación de la columna.....	111

Figura.6.17	Diagrama de cuerpo libre para viga	113
Figura.6.18	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector para las vigas	114
Figura.6.19	Cubo del disco.....	118
Figura.6.20	Disco con ranuras.....	118
Figura.6.21	Disco Completo.....	119
Figura.6.22	Balancín.....	119
Figura.6.23	Balancín Completo.....	120
Figura.6.24	Alojamiento del Rodamiento.....	120
Figura.6.25	Platina	121
Figura.6.26	Biela completa.....	121
Figura.6.27	Soporte de Mordazas.....	122
Figura.6.28	Soporte Carril de Mordaza Inferior.....	122
Figura.6.29	Soporte Carril de Mordaza Completo	123
Figura.6.31	Unión entre carril y biela.....	123
Figura.6.32	Mordaza Superior.....	124
Figura.6.33	Mordaza Inferior.....	124
Figura.6. 34	Base del motor.....	125
Figura.6.35	Bancada.....	125
Figura.6.36	Máquina de ensayo a fatiga por tracción.....	126

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1 Aplicaciones de los Polímeros termoestables.....	13
Tabla 2.2 Propiedades mecánicas de materiales compuestos de matriz termoestable reforzados con varios tipos de fibras.....	16
Tabla 2.3 Características mecánicas de la fibra de cabuya.....	18
Tabla 2.4. Dimensiones de las probetas con respecto al espesor (T), mm (in).....	33
Tabla 3.1 Operacionalización de la variable independiente.....	47
Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.....	48
Tabla 3.3 Formas de recolección de la información.....	49
Tabla 4.1 Parámetros y expresiones para la identificación y modelización de la carga cíclica.....	54
Tabla 4.2 Parámetros y expresiones para la identificación y modelización de la carga cíclica. Tipo de la tensión cíclica en función.....	54
Tabla 4.3 Propiedades de polímeros termoestables seleccionados.....	56
Tabla 4-4 Esfuerzos para Polímero Compuesto con Fibra de cabuya.....	58
Tabla 4.5 Porcentajes de Refuerzo – Matriz.....	60
Tabla 4.6 Porcentajes para el aserrín	60
Tabla 4.7 Porcentajes para cascarilla de arroz.....	60
Tabla 4.8 Porcentajes para Fibra de cabuya.....	61
Tabla 4.9 Porcentajes para aplicar aditivos a la resina.....	63
Tabla 4-10 Esfuerzos y Número de Ciclos para polímero compuesto con 10% fibra de cabuya.....	66

Tabla 4-11 Esfuerzos ($\log \sigma$) y Número de Ciclos (N) con un 10% de fibra de cabuya.....	67
Tabla 4-12 Esfuerzo Corregido para un polímero compuesto con 10% de fibra de cabuya.....	71
Tabla 4-13 Estadísticas descriptivas: Ciclos ($\log N$).....	72
Tabla 4.14 Porcentajes para fabricación de un accesorio con un volumen de 128 cm ³	78
Tabla 4.15 Porcentajes para fabricación de un accesorio con un volumen de 128 cm ³	79
Tabla 4.16 Porcentajes para aplicar aditivos a la resina para la fabricar un accesorio.....	80
Tabla 6-1 Dimensiones del soporte de probeta.....	109
Tabla 6.2 Costos Directos.....	127
Tabla 6.3 Costos mano de obra.....	128
Tabla 6.4 Costos totales de la máquina.....	128
Tabla 6.5 Costos de probetas del ensayo a fatiga mecánica por tracción.....	129
Tabla 6.6 Costo de un Ensayo a fatiga por tracción.....	130

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

°	Grados.
%	Porcentaje.
A	Área/ constante.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
AISI	Asociación Internacional Americana de Ingeniería.
b_i	Ancho de la probeta/ ancho de la sección.
c	Distancia desde el eje neutro hasta las fibras externas de la viga
D	Diámetro.
d	Error / promedio de diferencias muestrales / diámetro
E	Módulo de elasticidad
F	Fuerza
f	Frecuencia
h	Altura de la sección
H	Potencia
H_o	Hipótesis nula.
H_a	Hipótesis alternativa.
I	Momento de inercia
k	Constante / tamaño de muestra / condición de apoyo
k_i	Factores de Marín
L	Longitud
Lh	Vida nominal en horas.
M	Momento flector.
M	Masa
N	Número de ciclos
N	Tamaño de la muestra
P	Carga aplicada
Q	Momento estático
Q	Proporción
R	Relación de esfuerzos
R	Relación de esbeltez

S	Esfuerzo
S_e	Límite de fatiga
S_{ut}	Resistencia ultima a la tracción
S_y	Resistencia a la Fluencia
s	Varianza de la muestra
T	Temperatura / estadístico de prueba / torque
t	Espesor de la probeta / estadístico de prueba
v	Fuerza cortante / volumen / velocidad tangencial
W^t	Carga tangencial
x	Variable
Y	Deflexión / variable
Z	Estadístico de prueba
α	Aceleración angular
δ	Deflexión
σ_x	Esfuerzo normal
τ_{xy}	Esfuerzo tangencial
σ_m	Esfuerzo medio
σ_a	Amplitud de esfuerzo
ω	Velocidad angular

RESUMEN EJECUTIVO

En el estudio del comportamiento a fatiga mecánica de polímeros compuestos con fibra natural como: aserrín, cascarilla de arroz y cabuya, se analizó las propiedades mecánicas como el comportamiento de la vida a fatiga mecánica por tracción para la posible aplicación de los mismos en la fabricación de accesorios para la industria carrocera.

Para desarrollar el estudio se realizaron ensayos bajo algunos parámetros de la NORMA ASTM D-761 y para las probetas bajo la NORMA ASTM D-638 finalmente se pudo determinar la curva de Wohler para la composición resina poliéster - cabuya mientras que para los materiales restantes resulto ineficiente la combinación de las mismas debido a que la orientación y tamaño de estas fibras no representa datos útiles para ser usados en aplicaciones como la establecida y mediante un análisis estadístico inferencial poder determinar la influencia que pueden tener los polímeros compuestos con fibra natural en la aplicación para la fabricación de accesorios de la Industria Carrocera. Se pudo determinar mediante la regresión una relación matemática del esfuerzo en función del número de ciclos para el material mencionado.

El método de ensayo fue utilizar probetas estandarizadas empotradas en los extremos uno fijo y el otro móvil con una frecuencia de 30 Hz, sobre los cuales se generaron fracturas las cuales variaron de acuerdo con el esfuerzo aplicado y mediante un contador electrónico se determinó el número de ciclos hasta la falla y así poder tener la información necesaria para la generación de la curva mencionada con anterioridad.

De esta manera se pueden incrementar las ventajas en aspectos como el económico, peso, ambiente porque se estarían aprovechando recursos que antes no han sido tomados en cuenta como lo son las fibras naturales y en especial a la de cabuya.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de Investigación

Estudio del comportamiento a fatiga mecánica de polímeros compuestos con fibra natural y su incidencia en la aplicación para la fabricación de accesorios de la Industria Carrocera.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

A nivel mundial estos materiales nacen de la necesidad de obtener materiales que combinen las propiedades de los cerámicos, los plásticos y los metales. Por ejemplo en la industria del transporte son necesarios materiales ligeros, rígidos, resistentes al impacto y que resistan bien la corrosión y el desgaste, propiedades éstas que rara vez se dan juntas.

OVIEDO F, BENAVIDES S, GUANOLUIZA H, MOLINA J (2010, p. 25) sostuvieron que en “las dos últimas décadas se está trabajando con intensidad en la fabricación de compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales como una alternativa a los compuestos más clásicos reforzados con fibra de vidrio. Sin embargo, donde presentan una importante alternativa es en el reemplazo de los compuestos reforzados con harina de madera (WPC - Wood-Plastic Composites).”

GUERRERO V. (2010, p. 34) sostuvo que “para la producción de materiales compuestos reforzados con fibras, clásicamente se han empleado fibras de vidrio, carbono, boro y aramida. Las fibras de vidrio son las más utilizadas gracias a su costo relativamente bajo y buenas propiedades mecánicas. No obstante, el uso de estas fibras, así como el de las fibras sintéticas antes mencionadas con lleva algunas desventajas

como su alta densidad, elevado consumo energético y generación de sustancias nocivas durante su producción. Además, estas fibras son muy abrasivas, representan un riesgo al ser inhaladas, implican el consumo de recursos no renovables y no son reciclables ni biodegradables. La existencia de estas desventajas ha impulsado, a nivel mundial, el desarrollo de varias investigaciones con miras a utilizar fibras vegetales para sustituir a las fibras sintéticas como refuerzos de los compuestos. Estos trabajos han hecho posible, por ejemplo, el que algunos componentes automotrices en los que tradicionalmente se utilizaban compuestos reforzados con fibra de vidrio pasen a ser fabricados a partir de compuestos con fibras vegetales, que son amigables con el medio ambiente. Las filiales de Mercedes Benz y Volkswagen localizadas en Brasil representan ejemplos destacados de empresas que incorporan en los vehículos que producen diversos tipos de compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras vegetales.”

En el caso de Ecuador, el país ofrece condiciones idóneas para el cultivo de diversos tipos de vegetales a partir de los cuales se pueden obtener fibras, a pesar de que la extracción de fibras naturales ha tenido un desarrollo incipiente en el país. Frente a esta realidad, se formuló el proyecto “Desarrollo de nuevos materiales para aplicaciones estructurales e industriales” financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y que está siendo ejecutado en la EPN.

A nivel local se reconoce que la industria se ha dedicado únicamente a la importación de productos e insumos constituidos por polímeros compuestos. Aunque también se desarrollan trabajos artesanales que combinan polímeros y fibra de vidrio o carbono especialmente utilizados para construir accesorios de autos, generalmente se hacen de forma manual.

1.2.2 Análisis Crítico

La utilización de polímeros es muy habitual debido a su facilidad de producción, bajo coste y durabilidad y esto trae consecuencias en el ambiente terrestre y marino debido a su resistencia a los procesos biológicos de degradación.

El estudio del comportamiento a fatiga mecánica de los polímeros compuestos con fibra natural trata de dar a conocer una alternativa para reemplazar fibras sintéticas en la fabricación de productos. Estos polímeros compuestos abren el camino a la nueva generación de materiales, productos y procesos sostenibles, con bajo impacto ambiental y altamente eco-eficientes siempre y cuando se igualen o mejoren las propiedades mecánicas y biodegradables.

El poco interés que existe en el país por el estudio de este tema ha provocado que no se pueda aprovechar la materia prima que constituyen las fibras naturales, ya que la extracción de las mismas ha tenido un desarrollo incipiente.

1.2.3 Prognosis

La falta de un estudio del comportamiento a fatiga mecánica de polímeros compuestos con fibra natural, ha causado el desinterés en el avance de la creación de nuevos productos a base de polímeros compuestos con fibras naturales que podrían incluso poseer mejores propiedades mecánicas y más aplicaciones en la industria carrocera, afectando principalmente al medio ambiente, personas que podrían encontrar una fuente de ingreso al vender las fibras naturales requeridas, contribuyendo a que no exista mejoras sociales y económicas que surgirían con la demanda de las mismas.

1.2.4 Formulación del problema

¿Qué tipo de estudio del comportamiento mecánico a fatiga de polímeros compuestos con fibra natural incidirá en la aplicación para la fabricación de accesorios de la Industria Carrocera?

1.2.5 Preguntas directrices.

¿Existe alguna información sobre las propiedades mecánicas de los polímeros compuestos con fibra natural?

¿Qué tipo de equipos son los requeridos para ensayos de polímeros compuestos con fibra natural?

¿Existen aplicaciones industriales de polímeros compuestos con fibra natural?

¿Existe otro tipo de polímeros compuestos que puedan sustituir a los sintéticos ya existentes y de gran consumo en el mercado?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 De Contenido

Ingeniería de Materiales, Ciencia de los Materiales, Resistencia de Materiales, Estructuras metálicas, Diseño de Elementos, Ensayos Destructivos, Seguridad Industrial

1.2.6.2 Espacial

El estudio se realizará en el Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua, en los Laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil-Mecánica

1.2.6.3 Temporal

El presente estudio del comportamiento mecánico a fatiga de compuestos poliméricos con fibra natural y su incidencia en la aplicación para la

fabricación de accesorios de la Industria Carrocera se desarrollará en los meses de Agosto del 2011 a Julio del 2013.

1.3 Justificación

El estudio del comportamiento mecánico a fatiga por tracción de los polímeros compuestos con fibra natural es de gran importancia debido a que en la actualidad se busca productos novedosos con iguales o mejores propiedades mecánicas de los ya existentes en el mercado, incluso se podría encontrar nuevas aplicaciones para polímeros compuestos. Uno de los principales motivos que impulsan el estudio lo constituye la disminución del impacto ambiental debido a que estos productos son biodegradables, los mismos que no obstruirían canales de desagüe en las ciudades evitando inundaciones, no afectaría a la vida silvestre tanto terrestre como marina. También se toma en cuenta el carácter renovable de los polímeros compuestos con fibra natural, no tóxicos, procesabilidad por distintas tecnologías.

Uno de los aspectos novedosos de este estudio se refiere al uso de fibra natural existente en la localidad y abundante, cuyo uso industrial no es muy conocido. También se generaría fuentes de empleo que mejoraría la economía de personas que se convertirían en proveedores de fibras naturales. El estudio del comportamiento mecánico a fatiga de los polímeros compuestos permitirá que se incrementen los conocimientos como los ya obtenidos en otras investigaciones como por ejemplo la obtención de los diagramas esfuerzo-deformación de todos los materiales compuestos y matriz. De acuerdo a la fig. 1 se observa que la fibra de abacá larga tiene mayor resistencia que el resto de los materiales compuestos.

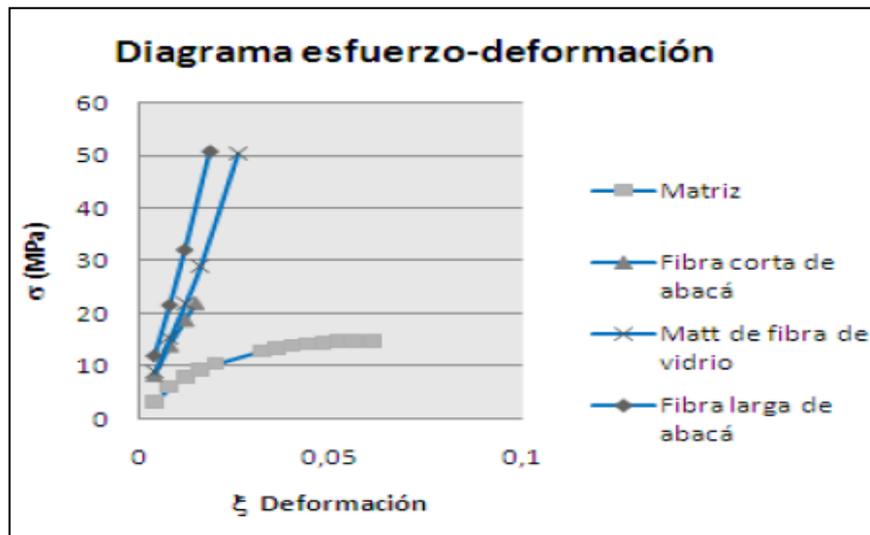


Figura 1.1 Diagrama Esfuerzo deformación

Fuente: Tomada de Maestría de diseño producción y automatización compuestos de LDPE reforzado con fibras de abacá y MATTS de fibra de vidrio

Entre las aplicaciones que podrían tener los polímeros compuestos se haría referencia a la Industria Carrocera con la fabricación de componentes moldeados, accesorios para máquinas, electrodomésticos, etc. Reduciendo así principalmente su peso y costo razón por la cual su uso se podría ampliar a más áreas de trabajo.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Generar suficientes datos del comportamiento a fatiga mecánica por tracción de polímeros compuestos con fibra natural con posibilidad de aplicaciones para la fabricación de accesorios de la Industria Carrocera.

1.4.2 Específicos

- Generar información sobre las propiedades mecánicas de los polímeros compuestos con fibra natural.
- Determinar la máquina de ensayo a fatiga mecánica por tracción para obtener el diagrama de la relación Esfuerzo - Número de Ciclos (S vs N).

- Establecer parámetros de comportamiento a fatiga mecánica por tracción de polímeros compuestos con fibra natural.
- Evaluar los datos obtenidos para establecer la posibilidad de utilizar estos polímeros compuestos en aplicaciones para la fabricación de accesorios de la industria carrocera.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

En la Facultad De Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela politécnica del Litoral en marzo del 2009 los Sres. Carlos Tapia, Cecilia Paredes y Carlos Correa realizaron la “Comparación de las propiedades de compuestos en base de polipropileno en mezcla con diversos residuos agroindustriales del Ecuador”. Estos compuestos son básicamente el resultado de la combinación de materiales termoplásticos como el polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), el polipropileno (PP) o el cloruro de polivinilo (PVC) con diversos productos de madera o materiales lignocélulosicos diversos.

De lo cual se ha concluido y recomendado que:

Al comparar los valores obtenidos de los ensayos de tensión con los valores estándar del Polipropileno virgen sin mezclar (14.3 MPa), podemos concluir que el refuerzo de fibra aumenta el Esfuerzo de Tensión. Siendo el compuesto de Bagazo de caña mejor en un 27%.

- En lo que respecta a los ensayos de impacto hubo un decrecimiento en la capacidad de absorber energía, al compararlo con los estándares (37 J/m). Esto es consistente, dada la noción de que la fibra cambia la constitución del material, por lo que un material totalmente sólido (una fase) absorbe más energía que uno compuesto. Se deben de hacer más estudios al respecto como, la adhesión interparticular y los procesos que sufren las fibras durante el ensayo de las probetas. Así como también variar los porcentajes de fibras, para poder comparar el efecto del relleno sobre el material.

- Dadas las características de los compuestos desarrollados, podemos notar la viabilidad de utilizar residuos agroindustriales que en este momento están siendo desperdiciados en nuestro país.
- En este trabajo no se ha hecho ninguna modificación a la resina termoplástica con compatibilizadores para aumentar la capacidad de enlace entre el refuerzo y matriz. Es importante tomar en cuenta que con la adición de estos agentes químicos la respuesta mecánica de los compuestos es superior.
- Es importante recalcar que los residuos de coco y la cascarilla de arroz presentan buenas propiedades mecánicas, siendo esta una alternativa rentable para los agroindustriales; ya que se podrían generar productos con valor agregado con residuos que en este momento representan costos para ellos.

Dentro de la línea de materiales compuestos, se han fabricado materiales de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá. Para ello se realizaron distintas formulaciones en las que se ha estudiado la influencia que tienen sobre las propiedades mecánicas variables como: la configuración del refuerzo, longitud de fibra y su fracción volumétrica.

Los resultados obtenidos a partir de la experimentación serán la base para rediseñar productos existentes en el mercado, a los cuales los compuestos proyecten sustituir.

Estos trabajos han hecho posible, por ejemplo, el que algunos componentes automotrices en los que tradicionalmente se utilizaban compuestos reforzados con fibra de vidrio pasen a ser fabricados a partir de compuestos con fibras vegetales, que son amigables con el medio ambiente.

2.2 Fundamento teórico

2.2.1 Introducción a los polímeros

Los polímeros, que abarcan materiales tan diversos como los plásticos, el hule o caucho y los adhesivos, son moléculas orgánicas gigantes en cadena, con pesos moleculares desde 10,000 hasta más de 1,000,000 g/mol. La polimerización es el proceso mediante el cual moléculas más pequeñas se unen para crear estas moléculas gigantes. Los polímeros se utilizan en un número sorprendente de aplicaciones, incluyendo juguetes, aparatos domésticos, elementos estructurales y decorativos, recubrimientos, pinturas, adhesivos, llantas de automóvil, espumas y empaques. Los polímeros son a menudo utilizados como fibra y como matriz en compuestos.

Los polímeros comerciales o estándar son materiales ligeros resistentes a la corrosión, de baja resistencia y rigidez, y no son adecuados para uso a temperaturas altas. Sin embargo, son relativamente económicos y fácilmente conformables en una diversidad de formas, desde bolsas de plástico o engranes metálicos y tinas de baño. Los polímeros ingenieriles están diseñados para dar una mejor resistencia o mejor rendimiento a temperaturas elevadas. Estos últimos se producen en cantidades relativamente pequeñas y son costosos. Algunos de los polímeros ingenieriles pueden funcionar a temperaturas tan altas como 350°C; otros, usualmente en forma de fibra, tienen resistencias superiores a las del acero. Los polímeros también son resistentes a la corrosión y al ataque químicos.

2.2.2 Generalidades

Características Generales

Se conforman fácilmente por moldeo. Para que sean reutilizables y con un nivel aceptable de calidad, hay que añadir “aditivos” auxiliares para la mejora de las propiedades.

- Baja resistencia a la tracción
- Uso limitado en función de la temperatura (300°C, 530°C)
- Gran coeficiente de dilatación térmica
- Plásticos: Gran capacidad de deformación plástica.

2.2.3 Propiedades de los Polímeros

2.2.3.1 Propiedades físicas de los polímeros

Dureza.- Los plásticos se comportan de forma muy variable. Las comparaciones entre materiales son difíciles de hacer, pero es evidente que los plásticos no son tan duros como el acero o el vidrio

Tenacidad.- La tenacidad es en realidad, una medida de la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa. Las mediciones de la tenacidad son empíricas y los valores obtenidos son comparativos solo de una manera aproximada.

Densidad.- El rango de densidad de los plásticos es relativamente bajo y varía entre 0.9 y 2.3 g/ cm³. Entre los plásticos de mayor consumo se encuentran el PE y el PP, ambos con densidad inferior a la del agua.

Permeabilidad.- Los films de plástico se emplean extensamente como barreras de vapor, como capas superpuestas en una gran variedad de estratificados y para otras muchas aplicaciones similares. También es importante su permeabilidad al vapor de agua.

Transparencia.- Es una característica que viene dada por el modo en que se estructura a nivel molecular. Los plásticos pueden dividirse en cristalinos y amorfos.

Cristalinos refractan la luz de forma individual, amorfos la transparencia va ligada a la cualidad amorfa del polímero.

2.2.3.3 Propiedades mecánicas

Son una consecuencia directa de su composición así como de la estructura molecular tanto a nivel molecular como supermolecular. Actualmente las propiedades mecánicas de interés son las de los materiales poliméricos y éstas han de ser mejoradas mediante la modificación de la composición o morfología, por ejemplo, cambiar la temperatura a la que los polímeros se ablandan y recuperan el estado de sólido elástico o también el grado global del orden tridimensional. Normalmente el incentivo de estudios sobre las propiedades mecánicas es generalmente debido a la necesidad de correlacionar la respuesta de diferentes materiales bajo un rango de condiciones con objeto de predecir el desempeño de estos polímeros en aplicaciones prácticas. Durante mucho tiempo los ensayos han sido realizados para comprender el comportamiento mecánico de los materiales plásticos a través de la deformación de la red de polímeros reticulados y cadenas moleculares enredadas, pero los esfuerzos para describir la deformación de otros polímeros sólidos en términos de procesos operando a escala molecular son más recientes. Por lo tanto se considerarán los diferentes tipos de respuesta mostrados por los polímeros sólidos a diferentes niveles de tensión aplicados; elasticidad, viscoelasticidad, flujo plástico y fractura.

2.2.4 Clasificación de los Polímeros

Una forma de clasificar los polímeros es según su respuesta mecánica frente a temperaturas elevadas. En esta clasificación existen tres grupos termoplásticos, termoestables y elastómeros. El presente trabajo de investigación se centró en los materiales compuestos con matriz termoestable, y por ello profundicé en el estudio de los mismos.

2.2.4.1 Polímeros Termoestables

Los Polímeros termoestables se endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar calentando. Son generalmente más duros, más

resistentes y más frágiles que los termoplásticos y tienen mejor estabilidad dimensional. Presentan fractura frágil.

Termoestables son líquidos durante la fase de mezcla pero endurecen cuando son calentados. Este proceso es irreversible, significa que después del procesamiento los materiales no pueden ser fluidificados o ablandados. Baekeland ya en el comienzo del siglo pasado sabía usar ingredientes de relleno para variar las cualidades de la baquelita, una resina fenol/formaldehído inventada por él.

Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los termoestables no tienen una temperatura de fusión fija y es difícil reprocesarlos una vez ocurrida la formación de enlaces cruzados.

Fibras o polvos de madera se usaban frecuentemente con plásticos termoestables. Las fibras naturales se aplican por razones diferentes y presencian un renacimiento.¹

Tabla 2.1 Aplicaciones de los Polímeros termoestables

<i>Tipo de material</i>	<i>Marcas registradas</i>	<i>Características de las principales aplicaciones</i>	<i>Aplicaciones típicas</i>
Polímeros termoestables			
Fenólicos	Bakelite, Durez, Resinox	Excelente estabilidad térmica hasta los 150°C; susceptible de formar materiales compuestos con muchas resinas, material de relleno, etc.; barato.	Carcasas de motores, teléfonos, distribuidores de automóvil (DELCO), accesorios eléctricos
Poliésteres	Selectron, Laminac, Paraplex	Excelentes propiedades eléctricas y barato; se puede utilizar a temperaturas ambiente o elevada; se suele reforzar con fibras	Cascos, barcos pequeños, paneles de automóvil, sillas, ventiladores
Siliconas	DC resins	Excelentes propiedades eléctricas; químicamente inerte, pero atacable por el vapor; extraordinaria resistencia al calor; relativamente económico	Láminas y cintas aislantes a elevadas temperaturas

Fuente: Tomado de Handbook of Plastic and Elastomers

Ya que las cadenas no pueden girar ni deslizarse, estos polímeros poseen buena resistencia, rigidez y dureza. Sin embargo, también tienen baja ductilidad y propiedades al impacto y una alta temperatura de

¹ ANDRZEJ K. BLEDZKI, VOLKER E. SPERBER, Comportamientos Recientes y Aplicaciones de Polímeros Rellenos de Fibra Natural, (Universität Kassel, Alemania)

transición vítrea. En un ensayo a la tensión los polímeros termoestables presentan el mismo comportamiento de los metales o los cerámicos frágiles.

El calor, la presión, la mezcla de las varias resinas u otros métodos, inician la formación de enlaces cruzados. Este proceso no es reversible: una vez formado, no es posible reutilizar o reciclar de manera conveniente el termoestables.

Fenólicos: Los fenólicos, que son los termoestables de uso más común, se utilizan frecuentemente como adhesivos, recubrimientos, laminados y componentes moldeados para aplicaciones eléctricas o de motores. La baquelita es uno de los termoestables fenólicos más usuales.

Poliésteres: Los poliésteres forman cadenas de moléculas de ácido y alcohol mediante una reacción de condensación, dando como subproducto agua. Cuando estas cadenas contienen enlaces no saturados, una molécula de estireno puede proporcionar el enlace cruzado. Los poliésteres se utilizan como material para moldes o para vaciado en una diversidad de aplicaciones eléctricas, laminados decorativos lanchas y equipo marino, y como matriz de materiales compuestos como la fibra de vidrio.

2.2.5 Introducción a los Materiales Compuestos

En la actualidad los ingenieros disponen de aproximadamente más de 80000 materiales diferentes para el diseño y fabricación de productos aplicables en diferentes campos. Estos materiales van desde aquellos ordinarios, usados desde hace varios cientos de años (como cobre, hierro fundido y latón), hasta materiales avanzados y recientemente desarrollados como compuestos, cerámicos y aceros de alto rendimiento. Dependiendo de sus características principales (como rigidez, dureza, densidad y temperatura de fusión), estos materiales pueden dividirse en cuatro grupos fundamentales: (1) Metales, (2) Plásticos, (3) Cerámicos, y

(4) Compuestos. En este capítulo se dará una breve descripción de las características principales de los materiales compuestos.

2.2.5.1 Materiales compuestos de matriz termoestable

El término termoestable supone que el calor es necesario para el endurecimiento permanente del polímero. Sin embargo, muchos de estos polímeros pueden ser endurecidos a temperatura ambiente solamente por la reacción química llamada curado.

Las resinas termoestables son normalmente isotrópicas, es decir que las propiedades son idénticas en todas las direcciones. Su propiedad más característica es su respuesta al calor ya que no se funden al calentarlas, pero pierden su rigidez a la temperatura de distorsión térmica, que define un límite superior efectivo para su uso en componentes estructurales. Esta característica es una desventaja puesto que los polímeros termoestables no pueden ser reciclados y reutilizados, ya que han sufrido modificaciones en su estructura química y a nivel molecular. Cabe señalar que los materiales compuestos se pueden reforzar utilizando materiales naturales y sintéticos. Los mismos que pueden tener diferentes formas tales como: fibras cortas, fibras continuas, láminas, tejidos, no tejidos, dependiendo del proceso de fabricación, la tasa de producción, costos y requisitos de una determinada aplicación, Además, cada tipo de refuerzo otorga diferentes propiedades al material compuesto.

Entre los refuerzos más utilizados están las fibras. Su ventaja radica en la facilidad de procesamiento que presentan y en que permiten obtener mejores propiedades mecánicas. Comúnmente las fibras más utilizadas con matrices termoestables son las fibras de vidrio.

Una alternativa al uso de fibra de vidrio consiste en emplear fibras naturales. Estas fibras, además de estar ampliamente disponibles en varias formas, representan materias primas renovables. En la tabla 2.2 se muestran algunas de las propiedades de materiales compuestos de matriz termoestable reforzados con varios tipos de fibras.

Tabla 2.2 Propiedades mecánicas de materiales compuestos de matriz termoestable reforzados con varios tipos de fibras

Material compuesto	Fracción de refuerzo	Esfuerzo máximo a la tracción [MPa]	Módulo de elasticidad [GPa]	Densidad [g/cm ³]
Sisal-Epoxi	0,3 en volumen	12,37	133,3	0,99
Yute-Epoxi	0,329 en peso	104	15	1,15
Vidrio-Fenólico	-	3,47-124,1	-	1,34 – 1,45
Celulosa-Melamina	-	3,47-62.05	-	1,45 – 1,52

Fuente: [Hull, 2003; Smith, 2004]

Resina Poliéster

La resina de Poliéster insaturado, o simplemente resina poliéster es el termoestable más utilizado para la formulación de materiales compuestos en el Ecuador. Esta resina es muy versátil, de fácil manipulación, tiene amplia disponibilidad en el mercado con un bajo costo y ofrece una excelente resistencia a la corrosión. Por sí sola usualmente no tiene resistencia suficiente, por lo cual necesita ser reforzada con materiales que mejoren sus propiedades mecánicas. Para este propósito se utilizan varios tipos de fibras naturales y sintéticas.

La resina se solidifica mediante una reacción química inducida por un agente externo. A este proceso se denomina curado. Para iniciar el curado se necesita la presencia de un catalizador (iniciador) y un acelerante. El acelerador promueve la descomposición del iniciador por la ruptura del enlace de peróxido para formar dos radicales libres. Cada uno de estos retiene un electrón del par de electrones a partir del monómero de vinilo, creando otro radical libre que reacciona con la instauración de la cadena de poliéster.

El curado de la resina poliéster se inicia tan pronto como se añade el iniciador. La velocidad de la reacción depende de la temperatura y la reactividad de la resina y el catalizador. Es esencial disponer de

cantidades suficientes de iniciador y acelerador para asegurar que se produzca adecuadamente el proceso de curado.

La reacción que se produce es una reacción exotérmica que puede alcanzar una temperatura de 160 ° C aproximadamente. Durante este proceso se presentan tres etapas:

- En la gelificación, la resina pasa de un estado líquido viscoso a un gel blando.
- En el endurecimiento, la resina pasa de un gel blando a sólido.
- En la maduración, la resina adquiere todas sus propiedades mecánicas y químicas.

Las dos primeras etapas son relativamente cortas, al contrario de la última que puede tardar varias horas o días a temperatura ambiente.

Las características de las resinas de poliéster se pueden variar mediante la alteración de las proporciones de sus componentes químicos durante el proceso de producción. Por otro lado, los poliésteres generalmente se clasifican según el material utilizado en su fabricación (ortoftálico, isoftálico, ISO-NPG, bisfenol A).

Fibra de Cabuya

Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los Andes y pertenece a la familia de las agaváceas. La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, esta se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra. Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros. La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Características mecánicas de la fibra de cabuya

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5%
Densidad	1,3 g/cm ³

Fuente: Nuevos Materiales, Aplicaciones Industriales, GUERRERO V.H, DÁVILA J.2011

Tomando en cuenta que la resistencia a la tracción de la resina poliéster oscila entre 40 y 90 MPa, la fibra de cabuya constituye una buena opción para la elaboración de materiales compuestos. Además, en nuestro país se encuentran disponibles diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados con fibra de cabuya, los cuales son utilizados principalmente en aplicaciones artesanales y podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos. Básicamente existen dos tipos de hilos de cabuya, el hilo fino y el hilo grueso. Los diámetros aproximados de estos hilos son 0.9 mm y 1.5 mm. Asimismo, existen diferentes tipos de tejidos de fibra de cabuya, los más utilizados son conocidos con los nombres de tejido grueso, normal y fino, tal y como se muestra en la Figura 2.1

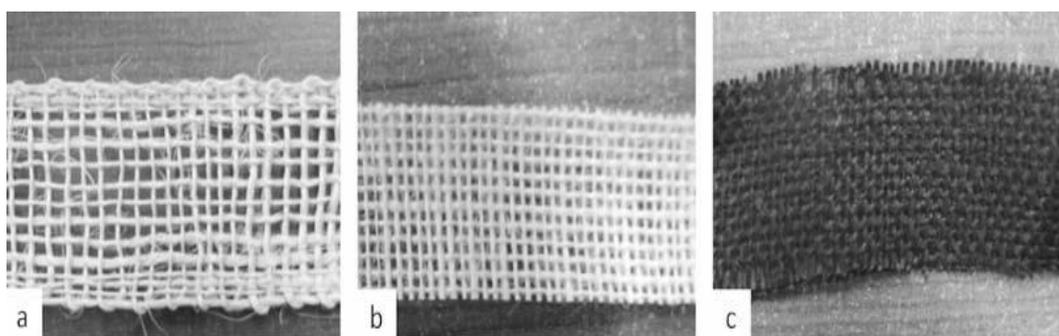


Figura 2.1. Fibra de cabuya tejida

Fuente: Nuevos Materiales, Aplicaciones Industriales, GUERRERO V.H, DÁVILA J.2011



Figura 2.2. Fibra de cabuya

Fuente: <http://nativa.turgw.com/home/fibra-de-cabuya-2/>

Aserrín

La industria de aserrío que transforma la madera en rollo a madera aserrada (tablas, tablones y vigas) procesa anualmente alrededor del 70% de la producción forestal maderable. Sin embargo, en el proceso de transformación, los coeficientes de aserrío (% de conversión de madera en rollo a tabla) varían de 45 a 60%, lo que significa que aproximadamente el 40% se convierte en residuos de escaso a ningún valor económico. Dentro de ese tipo de residuos, se destaca el aserrín que se genera en la sierra principal, regularmente no tiene una aplicación o comercialización importante, más bien se convierte en un problema de disposición y manejo para esta industria, mismo que termina enviándose a usos artesanales y rudimentarios como combustible, auxiliar para limpieza en casas y granjas, e incluso abandonado en el campo, por la falta de propuestas tecnológicas para un aprovechamiento industrial.

No existen datos precisos y confiables acerca de la cantidad de aserrín que se genera en la industria del aserrío, cifras y estimaciones aisladas permiten deducir una probable potencialidad de disposición de este recurso.

Una posibilidad importante para el aprovechamiento tecnológico del aserrín, es en el campo de los materiales compuestos. Este tipo de materiales tienen la característica de ser producidos por la combinación

de dos o más materias primas con propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes, por lo que su combinación genera una sinergia de propiedades, que les confiere cualidades sobresalientes incrementando su potencial de utilización.



Figura 2.3. Formación de un compuesto por fibras y resina.

Fuente:<http://spanish.alibaba.com/product-free/wood-sawdust-101032374.html>

Cascarilla de arroz

La práctica habitual de los industriales consistía en la quema directa de este residuo en espacio abierto, generando problemas ambientales no sólo para el aire sino también para el suelo. Además la aparición de regulaciones ambientales a partir del protocolo de Kioto para la disminución de emisiones de CO₂, originó la aparición de nuevos inconvenientes para los molinos, ya que la cascarilla tendría ahora que ser quemada en condiciones especiales, para lo cual el margen de utilidades y la falta de tecnología no propiciaban un camino alentador. Por eso a partir de la década de los años 80, se han realizado diferentes investigaciones para encontrar un valor agregado a lo que hasta ese momento se conocía como un desecho.

El resultado de estas investigaciones originó nuevas formas de adicionar las propiedades de la cascarilla en materiales como el cemento y el caucho, en la extrusión de polímeros con fibras naturales, en la fabricación de materiales aislantes y principalmente en su utilización como combustible, como para la obtención de energía. Otro aspecto positivo que posee la cascarilla es su comportamiento ignífugo, que

quiere decir que requiere de mucho calor para poder iniciar la combustión, por eso el uso como aislante térmico es recomendable.



Figura 2.4. Cascarilla de arroz

Fuente:<http://cascarilla.net78.net/wordpress/archivos/tag/cascarilla-arroz-como-fertilizante>

2.2.5.2 Estructura

Un material compuesto puede definirse como la unión de dos o más materiales que se integran para dar una combinación única de propiedades. Esta definición de material compuesto es muy general y puede incluir aleaciones metálicas, copolímeros plásticos, minerales, y madera. Los compuestos reforzados difieren de los compuestos anteriores en que los materiales constitutivos son diferentes a nivel molecular y son mecánicamente separables. En forma general, los materiales constitutivos trabajan juntos pero permanecen en sus formas originales. Las propiedades finales de los compuestos son mejores que las propiedades de sus materiales constitutivos.

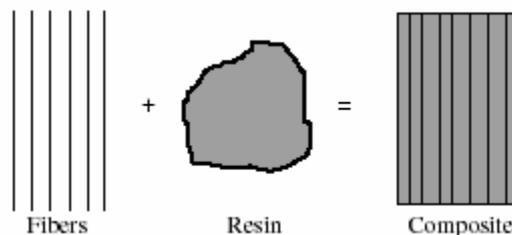


Figura 2.5. Formación de un compuesto por fibras y resina.

Fuente: Tomado de Comportamiento en fatiga de Poliamidas Reforzadas con fibra de vidrio corta, Casado del Prado J.A 2001

El concepto principal cuando se habla de un material compuesto es el de que éste está conformado por una matriz y uno o más materiales de refuerzo. Entre los compuestos más comunes están aquellos elaborados con fibras sintéticas integradas en una matriz, que es el material que las rodea y las fija, tal como se muestra en la Figura 2.5. En este trabajo la atención se centra en los casos en que la matriz está conformada por polímeros. Los refuerzos pueden ser fibras, partículas o filamentos, y los materiales de la matriz pueden ser metales, plásticos, o cerámicos. Los refuerzos pueden hacerse de polímeros, cerámicos y metales. Las fibras pueden ser continuas, largas o cortas. Los compuestos más utilizados son los de matriz polimérica reforzados con fibras de un material cerámico, como el carbono o el vidrio. Generalmente las fibras ocupan alrededor del 60% del volumen en los compuestos de este tipo.

Las propiedades de los compuestos reforzados con fibras dependen fundamentalmente de la orientación o la forma en que estén entretejidas las fibras en la matriz. Las fibras soportan la carga y su resistencia es mayor a lo largo del eje de la fibra. La forma de la fibra se selecciona dependiendo del tipo de aplicación (estructural o no estructural) y el método de fabricación.

2.2.6 Falla de materiales poliméricos

A los efectos de la mecánica de materiales, usaremos una definición funcional de falla (Muchos autores prefieren hablar de estado límite). Falla es una condición no deseada que hace que el elemento estructural una función para la cual existe. Una falla no necesariamente produce colapso o catástrofe.

- Mecanismo de falla, es el proceso o secuencia que ocurre en el elemento estructural cuando falla. Puede haber un mecanismo de falla o varios que se acoplan. Ejemplos: mecanismo de pandeo, mecanismo de fractura.

- Modo de falla, es la configuración (geométrica) que adopta el elemento estructural cuando falla. Ejemplos: Modo II de fractura, modo local de pandeo.
- Parámetro crítico, es un indicador asociado a la falla. Se usan indicadores, como tensión, deformación, desplazamiento, carga, número de ciclos de carga, energía, etc. Ejemplo: carga crítica de pandeo, número de ciclos de fatiga.
- Criterios de falla, permiten predecir el modo de falla. Ejemplos: criterio de plasticidad de von Mises, criterio energético de estabilidad. La falla de un objeto estructural puede significar la falla del sistema al que pertenece.

2.2.6.1 Deformación elástica.

Empecemos con algunas definiciones; a bajas deformaciones se dice que el material sufre una deformación elástica, término que manifiesta un proceso reversible, o sea el material almacena energía, por lo que cuando se cesa la fuerza externa, el material en esa zona es capaz de volver a su estado (o longitud) inicial, “expulsando” la energía acumulada.

Un término muy utilizado en ingeniería es el de rigidez, el cual se relaciona con la “dificultad” que se tiene para deformar una muestra; en nuestro caso un material rígido se referirá a uno con alto Módulo de Elasticidad.

2.2.6.2 Deformación plástica y punto de fluencia.

Como se pudo haber observado de la discusión precedente, la deformación elástica tiene un fin, excepto obviamente los elastómeros. Lo que viene después es lo que se denomina deformación plástica, y se puede definir como aquel proceso donde producto de la deformación el sistema pierde energía, es decir parte de la energía que se le entrega al material para ser deformado no se recupera, por lo que el material sufre una deformación permanente. Es importante señalar que cuando se llega a esta zona de deformación plástica y al material se le cesa la fuerza

externa, existirá una recuperación, que no será total, la cual está asociada a la parte elástica de la deformación. Este tipo de deformación en el caso de un ensayo de tracción-deformación ocasionara un direccionamiento de las cadenas, lo que trae como consecuencia la anisotropía progresiva del material.

El punto de transición, es decir el límite entre los procesos elásticos y los plásticos, se denomina punto de fluencia (“yield point”) y queda caracterizado por una tensión y deformación particular denominados de fluencia.

2.2.6.4 Rotura

La resistencia a la rotura de los materiales poliméricos es relativamente menor a la de los metales y cerámicos. Por regla general, los polímeros termoestables presentan fractura frágil. La formación de grietas en la región donde se localizan las tensiones (fisuras, estrías y cortes) está asociada con el proceso de rotura.

Los polímeros termoplásticos presentan fractura dúctil y frágil, y muchos experimentan la transición dúctil y frágil. La baja temperatura, la alta velocidad de deformación, la presencia de entallas agudas, el incremento del espesor de las muestras y las modificaciones de la estructura polimérica son factores que favorecen la fractura frágil.

2.2.6.5 Fatiga

Los polímeros pueden experimentar fallos por fatiga en condiciones de esfuerzos cíclicos. Del mismo modo que en los metales, la fatiga ocurre a esfuerzos relativamente pequeños comparados con el límite elástico. Los ensayos de fatiga de los polímeros no duran tanto como en los metales; sin embargo, la representación gráfica de los resultados obtenidos con ambos materiales tiene forma parecida. Algunos polímeros presentan límite de fatiga (un nivel de esfuerzo por debajo del cual el esfuerzo para que se produzca el fallo se hace independiente del número de ciclos).

Otros polímeros no parece que tengan tal límite. Como era de esperar, la resistencia a la fatiga y el límite de fatiga de los polímeros es mucho menor que la de los metales.

2.2.7 Mecanismos de falla por fatiga en los compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra

2.2.7.1 Comportamiento Macroscópico

La fatiga en diversos polímeros de ingeniería fue analizada por Hernan y sus colaboradores en 1990. Las muestras ensayadas presentaron roturas debidas a fallos térmicos cuando fueron sometidas a fuertes niveles tensionales al provocar un elevado calentamiento de histéresis. Sin embargo cuando se aplica niveles de esfuerzos inferiores, la rotura de los materiales se produce tras un proceso de propagación estable de fisuras por fatiga, no habiéndose registrado en esta ocasión elevadas temperaturas en el seno de los mismos.

La adición de fibras a los polímeros introduce significativas mejoras en sus propiedades mecánicas principalmente, de tal forma que los valores de resistencia mecánica y rigidez se ven claramente incrementados, con relación a los correspondientes a los del polímero sin reforzar.

En los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras, la pérdida de adherencia entre la matriz y el refuerzo ocurre tras un número pequeño de ciclos incluso a un modesto nivel de tensiones.

En la figura 2.6 se ilustra la secuencia de daño de un polímero reforzado, que tiene lugar durante su fatiga hasta el momento de la rotura. Esta secuencia consta de tres etapas que se producen de forma sucesiva: inicialmente se produce el despegue de las fibras con respecto de la matriz, a continuación se produce la figuración del material y por último la rotura.

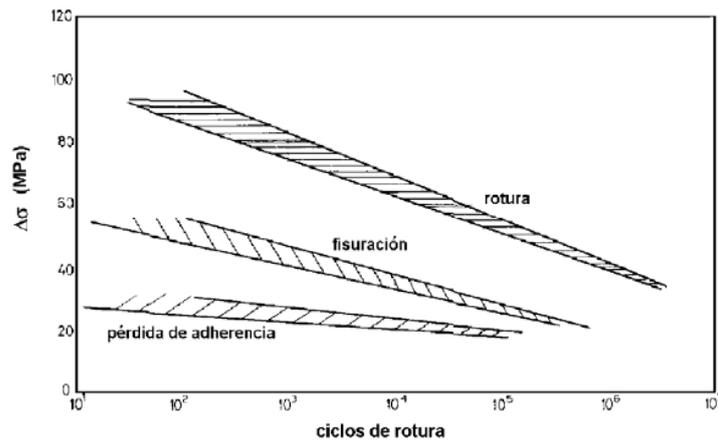


Figura 2.6 Evolución del daño en fatiga

Fuente: Tomado de Comportamiento en fatiga de Poliamidas Reforzadas con fibra de vidrio corta, Casado del Prado J.A. 2001

❖ Fatiga por fallo mecánico

Aunque no se generen las condiciones que evitan los fallos en fatiga de los materiales poliméricos causados por su ablandamiento térmico, se puede producir un proceso de fatiga mecánica convencional con debilitamiento progresivo del material y su posterior rotura debido a la propagación de fisuras o defectos inherentes del mismo. Por lo general las fisuras se propagan de manera estable a lo largo de la sección normal a la sollicitación impuesta, aumentando paulatinamente los esfuerzos locales y globales netos aplicados hasta alcanzar la resistencia del material, lo que con lleva a su rotura brusca.

Una frecuencia de aplicación de esfuerzos alternos suficientemente baja sobre un polímero puede establecer su modo de rotura por fatiga puramente mecánica.

Por lo tanto, para una variación tensional dada, una frecuencia de oscilación de carga elevada puede producir fuertes incrementos de temperatura en el polímero, erigiéndose, en este caso, el mecanismo de fallo térmico como el causante principal de la rotura. Sin embargo, cuando la frecuencia de la sollicitación es baja, los incrementos térmicos son menores y los mecanismos que producen el fallo del material son los de fatiga y fluencia acoplados, que dan lugar a una rotura por fatiga de

tipo mecánica. En este caso, el peso de la fluencia es mayor conforme decrece la frecuencia.

2.2.7.2 Comportamiento Microscópico

Lang en 1987 y Karbhari en 1989 describieron los mecanismos de fallo producidos en materiales de matriz polimérica. Para ello realizaron ensayos a tracción y de fatiga en tracción, la secuencia que establece el mecanismo de fallo de estos materiales compuestos es la que se describe a continuación.

- a) Inicio de fisuración
- b) Crecimiento estable
- c) Crecimiento inestable y rotura

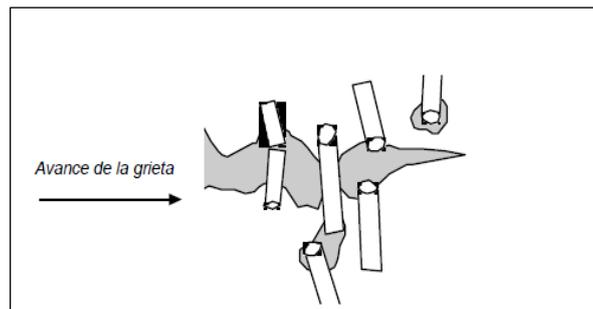


Figura 2.7 Pérdida de adherencia a lo largo de las fibras

Fuente: Tomado de Comportamiento en fatiga de Poliamidas Reforzadas con fibra de vidrio corta, Casado del Prado J.A. 2001

Independientemente de donde se produzca primero la pérdida local de adherencia, el proceso de la fatiga continuada provoca la propagación de micro fisuras de cizalla a lo largo de la interfaz fibra-matriz que debilita su unión y favorece la separación entre el refuerzo y la matriz.

2.2.8 Ensayos Mecánicos

Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material. Los términos ensayo de tensión y ensayo de compresión se usan normalmente a la hora de hablar de ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a

una carga mono axial gradualmente creciente (estática) hasta que ocurre la falla.

La fatiga de materiales se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estática. Exceptuando algunas piezas de ensayo arbitrariamente formadas, las probetas son cilíndricas o prismáticas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo dentro del cual las mediciones se toman. Las probetas en compresión quedan limitadas a una longitud tal que el flambéo debido a la acción columnar no constituya un factor.

Los ensayos estáticos de tensión y de compresión son los más realizados, además de ser los más simples de todos los ensayos mecánicos. Estos ensayos implican la normalización de las probetas con respecto a tamaño, forma, método de preparación y la de los procedimientos de ensayo.

2.2.8.1 Ensayo de fatiga en Polímeros

Define el comportamiento de los materiales plásticos bajo el efecto de esfuerzos cíclicos, que pueden ser tracción, compresión, flexión, etc. Para un esfuerzo dado, la rotura aparece al cabo de un número de ciclos, que depende de la frecuencia con que éstos se repiten. Como los esfuerzos que provocan la rotura son siempre inferiores a los que la producirían en un ensayo de corta duración a carga constante, se dice que la rotura tiene lugar por fatiga del material.²

- Los polímeros pueden experimentar fallos por fatiga en condiciones de esfuerzos cíclicos. Del mismo modo que en los metales, la fatiga ocurre a esfuerzos relativamente pequeños comparados con el

² CALLISTER W, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales , (Inspección Nava), Ecuador

límite elástico. Los ensayos de fatiga de los polímeros no duran tanto como en los metales; sin embargo, la representación gráfica de los resultados obtenidos con ambos materiales tiene forma parecida. Algunos polímeros presentan límite de fatiga (un nivel de esfuerzo por debajo del cual el esfuerzo para que se produzca el fallo se hace independiente del número de ciclos). Otros polímeros no parece que tengan tal límite. Como era de esperar, la resistencia a la fatiga y el límite de fatiga de los polímeros es mucho menor que la de los metales.

2.2.9 Curva S-N

Estas curvas se obtienen a través de una serie de ensayos donde una probeta del material se somete a tensiones cíclicas con una amplitud máxima relativamente grande (aproximadamente $2/3$ de la resistencia estática a tracción). Se cuentan los ciclos hasta rotura. Este procedimiento se repite en otras probetas a amplitudes máximas decrecientes.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, S, frente al logaritmo del número N de ciclos hasta la rotura para cada una de las probetas. Los valores de S se toman normalmente como amplitudes de la tensión σ_a .

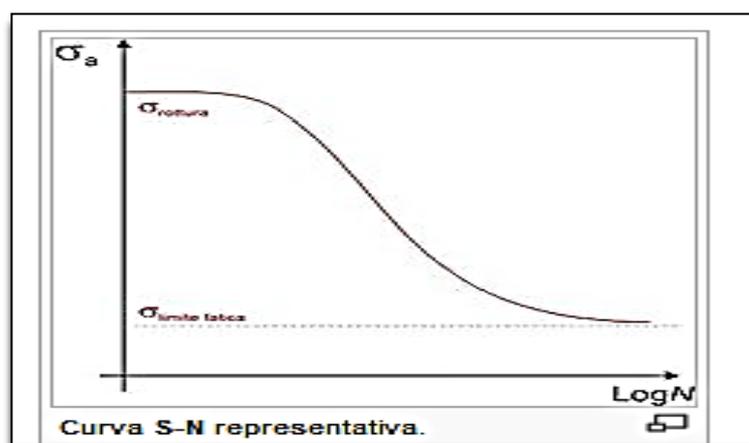


Figura 2.8 Curva S- N

Fuente: Tomada de Fatiga de materiales. http://es.wikipedia.org/wiki/Fatiga_de_materiales

Como en general no se diseñan máquinas ni elementos de manera que las máximas tensiones sean de 0,1-0,2 veces el límite elástico del material, pues en ese caso se estarían desaprovechando buena parte de las capacidades mecánicas del material. La mayor parte de las investigaciones sobre la fatiga se han realizado empleando las máquinas de flexión rotativa, en las que la tensión media es nula.

El número de ciclos que dura una probeta antes de fallar aumenta al disminuir la tensión. N es el número de ciclos de tensión necesarios para producir la fractura completa de la probeta. Es la suma del número de ciclos que hacen falta para que se inicie una grieta y el de los que transcurren durante la propagación de la grieta hasta la rotura total. No suele hacerse distinción entre estos dos sumandos, aunque puede apreciarse que el número de ciclos que necesita la propagación de la grieta depende de las dimensiones de la probeta

El esfuerzo también puede representarse en una escala logarítmica y se ha pretendido que los resultados puedan representarse por una línea recta cuando se utilice una representación doble logarítmica. Esta pretensión no está de acuerdo con la práctica, sobre todo si se incluyen los resultados a gran número de ciclos.

Un rasgo característico del comportamiento a la fatiga, es la dispersión en los resultados de los ensayos. Parte de la dispersión puede atribuirse a errores experimentales, como una mala alineación de la probeta o una determinación inexacta del valor del esfuerzo; pero lo que parece cierto es que la dispersión es una característica inherente del comportamiento de la fatiga. Por otra parte, es necesario realizar un gran número de ensayos si se quiere determinar exactamente la curva S-N. Se requieren normalmente ocho ensayos como mínimo y se debieran realizar más, si fuera posible.

En todo caso, existe una diferencia notable entre la teoría y la realidad. Esto conduce a incertidumbres significativas en el diseño cuando la vida a

fatiga o el límite de fatiga son considerados. La dispersión en los resultados es una consecuencia de la sensibilidad de la fatiga a varios parámetros del ensayo y del material que son imposibles de controlar de forma precisa. Estos parámetros incluyen la fabricación de las probetas y la preparación de las superficies, variables metalúrgicas, alineamiento de la probeta en el equipo de ensayos, tensión media y frecuencia de carga del ensayo.

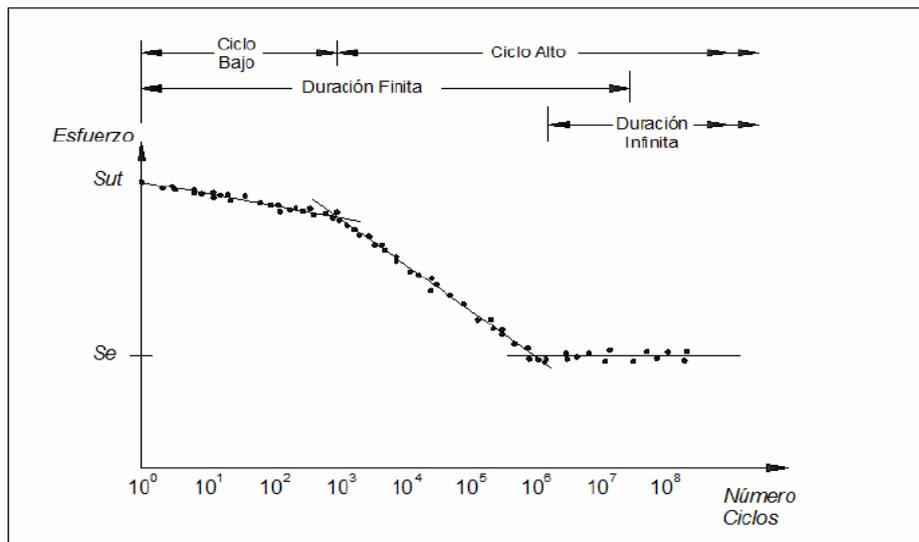


Figura 2.9 Curva S- N características

Fuente: Tomada de Diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga de muestras planas por flexión alternativa, GEFREY G. RODRIGUEZ R. (Universidad Central de Venezuela)

Se han desarrollado técnicas estadísticas y se han utilizado para manejar este fallo en términos de probabilidades. Una manera adecuada de presentar los resultados tratados de esta manera es con una serie de curvas de probabilidad constante.

2.9.1 Resistencia a la fatiga en la zona de bajo ciclaje

Muchas veces para el diseño de piezas mecánicas en las cuales los ciclos de carga están en la zona de bajo ciclaje, no se toman en cuenta las condiciones de fatiga del material, emperándose solo consideraciones estáticas. Para tener en cuenta estos efectos se suele emplear la

evidencia experimental basada en la relación entre la resistencia al límite de la fatiga y la resistencia a la ruptura del material.

2.9.2 Resistencia a la fatiga en la zona de alto ciclaje

La fatiga a los ciclos altos corresponde a valores superiores a 10^3 ciclos de esfuerzo y la mayoría de las piezas y máquinas que se diseñan operan en esta zona. En muchos casos la posibilidad de fluencia gobernará las decisiones del diseño en el extremo inferior de esta región no obstante, se debe tener en cuenta la posibilidad de falla por fatiga.

2.2.10 Normas para ensayos a fatiga y para probetas de polímeros

ASTM normativa que ha sido desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM, de ahí la denominación) como estándar para la realización de ensayos de materiales estableciendo las condiciones y procedimientos más adecuados para la obtención de buenos resultados. La mencionada normativa indica las dimensiones admisibles en las probetas, el procedimiento correcto de ensayo y los instrumentos de medida que se han de utilizar así como el tratamiento de datos que debe realizarse.

2.2.10.1 Clases de probetas para polímeros según norma ASTM D638

Según la norma ASTM D638 (Standard test Method for Tensile Properties of Plastic) existen cinco tipos de probetas, las cuales tienen características diferentes en sus dimensiones y cada tipo depende del material del que son fabricadas, las probetas tipo I, II, III, IV, V se pueden fabricar en polímeros rígidos y semirrígidos, además las probetas III y IV también se pueden fabricar de polímeros no rígidos, a continuación se presentara los tipos y dimensiones que ostentaran cada una de las probetas.

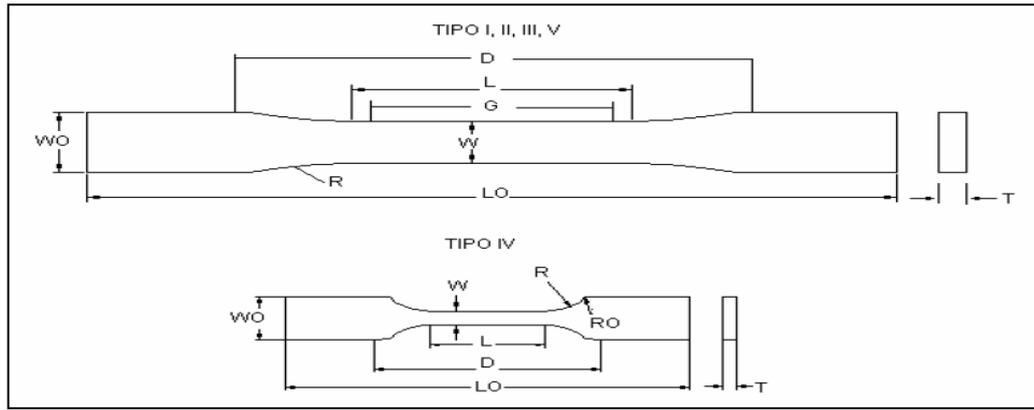


Figura 2.10 Clases de probetas

Fuente: Tomada de la Tesis Diseño Mecánico de una máquina universal para Ensayos de polímeros.p.21

A continuación se presentan las tablas que muestran las dimensiones de las probetas para espesores (T) en milímetros y en pulgadas.

Tabla 2.4. Dimensiones de las probetas con respecto al espesor (T), mm (in)

Dimensiones	≤ 7(0.28)		7 a 14 (0.28-0.55) Incl. Tipo III	≤ 4(0.16)		Tolerancias
	Tipo I	Tipo II		Tipo IV	Tipo V	
w-Ancho de la sección						
Estrecha	13(0.50)	6(0.25)	19(0.75)	6(0.25)	3.18(0.125)	±0.8(±0.02)
L- Longitud de sección estrecha	57(2.25)	57(2.25)	57(2.25)	3(1.30)	9.53(0.375)	±0.7(±0.02)
W ₀ - Ancho, mm ²	19(0.75)	29(1.13)	29(1.13)	19(0.75)	9.53(0.375)	±0.6(±0.25)
L ₀ - Largo, mm ²	165(6.5)	246(9.7)	246(9.7)	115(4.5)	63.5(2.5)	No máx.
G- Longitud	50(2.00)	50(2.00)	50(2.00)	XXX	7.62(0.300)	±0.26(±0.020)
G- Longitud	XXX	XXX	XXX	25(1.00)	XXX	±0.13(±0.006)
D- Distancia entre mordazas						±5(=0.2)
R- Radio de filete	115(4.5)	135(5.3)	115(4.5)	65(2.5)	25.4(1.00)	±1(=0.04)
R ₀ - Radio exterior(Tipo IV)	76(3.00)	76(3.00)	76(3.00)	14(0.56)	12.7(0.5)	±1(=0.04)
	XXX	XXX	XXX	25(1.00)	XXX	

Nota. Normas para probetas de polímeros y máquinas de ensayo

Fuente: Tomada de la Tesis Diseño Mecánico de una máquina universal para Ensayos de polímeros.p.22

Las siguientes convecciones corresponden a la tabla 1. (Dimensiones de las probetas con respecto al espesor), estas explican con más claridad las dimensiones con sus respectivas tolerancias, las cuales dependen del proceso por el cual se fabrican las probetas.

- a) El ancho W_c estará entre + 0.000 mm y -0.10 mm (+0.00 in y 0.004 in). Comparando con el ancho W en otras partes de la sección reducida, cualquier reducción en w en el centro será gradual igualmente en cada lado de modo que no resulten cambios precipitados en la dimensión.
- b) Para las probetas moldeadas, se permite una tolerancia no mayor de 0.13 mm (0.005 in), para probeta tipo I o probeta tipo II se puede permitir 3.2 mm (0.13 in) de espesor y este debe ser considerado para calcular el ancho de la probeta así el grueso máximo de la probeta tipo I podría ser el siguiente:

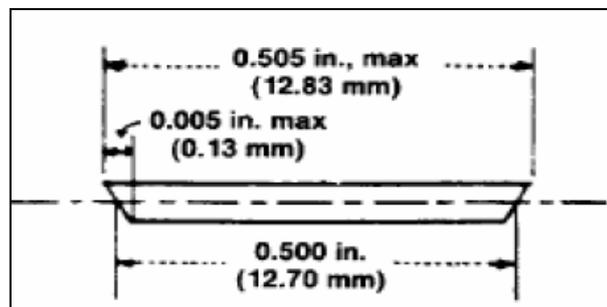


Figura 2.11 Grueso máximo de la Probeta

Fuente: Tomado de Tesis Diseño Mecánico de una máquina universal para Ensayos de polímeros. Gallegos P, Claros R.p.22.

- c) Marca o palmo inicial del extensómetro.
- d) El grueso denotado como T debe ser entre $3.2_+ 0.4$ mm ($0.13_+ 0.02$ in) para todos los tipos de probeta moldeadas y para otras probetas de tipo I y probeta de tipo II el grueso puede ser de 14 mm (0.55 in) las probetas serian trabajadas a máquina hasta $14_+ 0.4$ mm ($0.55_+ 0.02$ in). Para probeta tipo III el grueso nominal estará entre 14 y 51 mm (0.55 y 2 in).

- e) El largo total de una probeta puede ser mayor que el mínimo indicado para evitar la rotura en las mordazas.
- f) El largo total de una probeta puede ser mayor que el mínimo indicado para evitar la rotura en las mordazas o satisfacer requisitos especiales de la prueba.
- g) Para la probeta tipo IV, el ancho interior será $6.00_{+0.05}$ mm ($0.250_{+0.002}$ in)
- h) Cuando las mordazas son auto-sujetadoras se usan para los polímeros altamente extensibles, la distancia entre los sujetadores dependerá de los tipos de sujetadores utilizados.
- i) La probeta tipo V será trabajado a máquina o corte dado a las dimensiones mostradas o moldeadas en un molde cuyas dimensiones serán:

$W = 3.18_{+0.03}$ mm ($0.125_{+0.001}$ in),

$L = 9.53_{+0.08}$ mm ($0.375_{+0.003}$ in),

$G = 7.62_{+0.02}$ mm ($0.300_{+0.001}$ in), y

$R = 12.7_{+0.08}$ mm ($0.500_{+0.003}$ in).

2.2.10.2 Procesos de fabricación de piezas o partes con matriz polimérica y refuerzo de fibras.

Mediante el laminado manual en términos de aplicaciones comerciales, más del 75% de todos los compuestos se fabrican con matrices termoestables. Sus usos predominan en los sectores aeroespaciales, automotrices, náuticos, artículos deportivos y los mercados de consumo.

Mientras tanto que para procesos utilizados para construir piezas en mayor número se usan moldes de diversas maneras, en función de la forma de la pieza que se quiere obtener, por lo general son moldes

partidos, si la pieza es de revolución y simétrica, lo más común es que sea de macho (núcleo) y de hembra (matriz), de lo contrario tendrá múltiples partes que se ensamblaran para el cierre y llenado del molde y se abren para el desmolde de la pieza.

Dependiendo de la cantidad de piezas a producir, los moldes pueden ser de accionamiento manual, si se trata de pequeñas series, para series mayores se utilizan moldes semiautomáticos, accionados por prensas y para grandes series de piezas los moldes automáticos en los cuales no participan prácticamente la mano humana.

Son muchos los puntos que deben de ser tomados en cuenta para la construcción de un molde: los materiales para su construcción, los métodos de elaboración del molde, diseño y características del molde y pieza a fabricar entre otros.³

2.2.10.3 Desarrollo del ensayo bajo la Norma ASTM D 638

Para el desarrollo de la prueba se propone el siguiente procedimiento, ya que la puesta en funcionamiento de la prueba tendrá un seguimiento similar a los procesos que se realizan en los laboratorios de resistencia de materiales en cuanto a montaje de la probeta y toma de datos.

- Medir el ancho y el espesor de la probeta.
- Verificar la sujeción de las mordazas para prevenir resbalamiento.
- Verificar la velocidad y encender la máquina.
- La atmosfera del laboratorio debe estar aproximadamente a 23°C.
- La cantidad de probetas para el ensayo deberán ser por lo menos cinco para materiales isotrópicos y 10 para anisotrópicos.
- Registrar los datos de carga y deformación además tener en cuenta la carga y deformación en el punto de ruptura.

³ QUIÑONEZ M. Control de calidad de la materia prima utilizada en la fabricación de partes de plástico reforzado con fibras, Colombia (PRFU).

- Suspender el desplazamiento de la máquina para evitar la toma errónea de datos.

2.2.11 Máquina para realizar el ensayo a fatiga

Las máquinas para realizar ensayos a fatiga en ciclos de esfuerzos repetidos o invertidos se clasifican de acuerdo con el tipo de esfuerzo producido:

- Máquinas para ciclos de esfuerzo axial (tensión y compresión).
- Máquinas para ciclos de esfuerzo flexionante.
- Máquinas para ciclos de esfuerzos.
- Máquinas universales para esfuerzo axial, deflexión, de corte torsionante o combinación entre ellos.

Todas las máquinas de ensayo de esfuerzos repetidos deben estar provistas de un medio para aplicar la carga a la probeta y medirla. Además debe proveerse con un contador para registrar el número aplicado de ciclos.



Figura 2.12 Máquina de ensayo a fatiga

Fuente: Tomada de Diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga de muestras planas por flexión alternativa, GEFREY G. RODRIGUEZ R. (Universidad Central de Venezuela)

2.2.12 Uso de polímeros para la fabricación de accesorios de la industria carrocera.

La sustentabilidad de la Industria del plástico puede considerarse desde dos puntos de vista diferentes.

- a) Su impacto ambiental (incluyendo la biodegradabilidad)
- b) La posibilidad de que el proceso productivo emplee materias prima renovables.

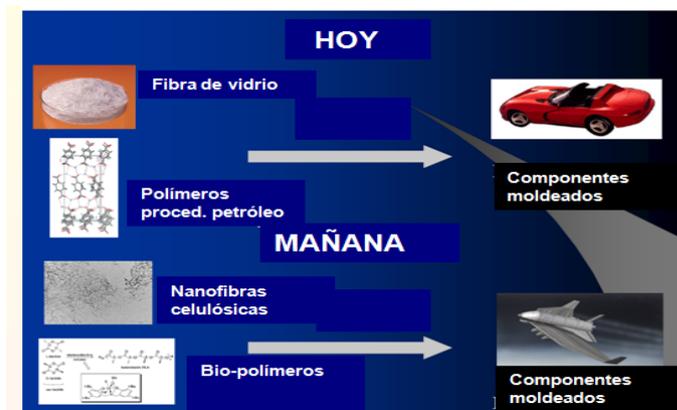


Figura 2.13 Perspectivas de uso de polímeros compuestos con fibra natural
Fuente: Materiales Compuestos de bajo impacto ambiental producidos a partir de Recursos Naturales

Los polímeros compuestos con fibra natural constituyen un ejemplo representativo de productos con bajo impacto ambiental. Su desarrollo y utilización a gran escala depende del coste de los refuerzos, que debe ser competitivo con las otras alternativas existentes en el mercado.

2.3 Fundamentación Filosófica

La presente investigación se fundamentara en el paradigma crítico propositivo, ya que las características de este paradigma permitirán ser flexibles en cuanto a consideraciones de diseño y métodos de elaboración que a la presente investigación compete.

Además permitirá una completa interpretación, comprensión y explicación de las variables involucradas en esta investigación para considerar las cualidades más no las cantidades que en el desarrollo de dicha

investigación se podrán encontrar y producir durante el transcurso investigativo del tema.

Mediante el paradigma propuesto se podrá planear alternativas de solución al presente problema en desarrollo, siempre enfocándose a un desarrollo de fácil comprobación y proporcionando una correcta comprensión.

En la antigua Grecia la aplicación de los materiales y su contacto directo con el hombre permitió un mayor acercamiento al conocimiento científico.

Así se observa a Tales de Mileto y su aseveración de “El mundo está compuesto por agua”, a Anaxímenes que señala al aire como materia prima de la que se derivan todas las demás por transformación, Empédocles con la introducción de los cuatro elementos fundamentales de la materia: el agua, el aire, el fuego y la tierra. Demócrito que atribuía el origen de la materia a la congregación de átomos, y relaciono sus propiedades con el movimiento de estas partículas indivisibles. Todas estas aseveraciones independientemente de su verdad o falsedad buscan una explicación en los propios elementos de la naturaleza y por lo tanto permiten ser comprobables.

Al final de la antigüedad la alquimia, cuya meta principal era el descubrimiento de la piedra filosofal, material capaz de transformar el plomo en oro, potenció descubrimientos importantes y se comenzó el uso de otros materiales, como el antimonio, los ácidos, el bismuto, el zinc, los cerámicos, etc.

En México la ingeniería de materiales llegó con el establecimiento del Real Seminario de Minería en 1824, donde se reunieron gran cantidad de celebres investigadores españoles, alemanes y novo hispanos, bajo la dirección de Fausto de Elhúyer, descubridor del tungsteno, permitiendo el nacimiento de tecnologías revolucionarias como lo atestiguo Von Humboldt en su visita en 1803, llevando a México a ser el primer productor mundial de plata, hecho q se mantiene vigente en nuestros

días. Un gran descubrimiento lo constituyó el hallazgo del elemento químico número 23, por Don Manuel Andrés del Rio en 1805, bautizado como Eritronio, aunque treinta años después los estudios de Niels Gabriel Sedstromen anunciarían al mismo elemento con el nombre de vanadio, cuyo nombre permanece hasta la fecha.

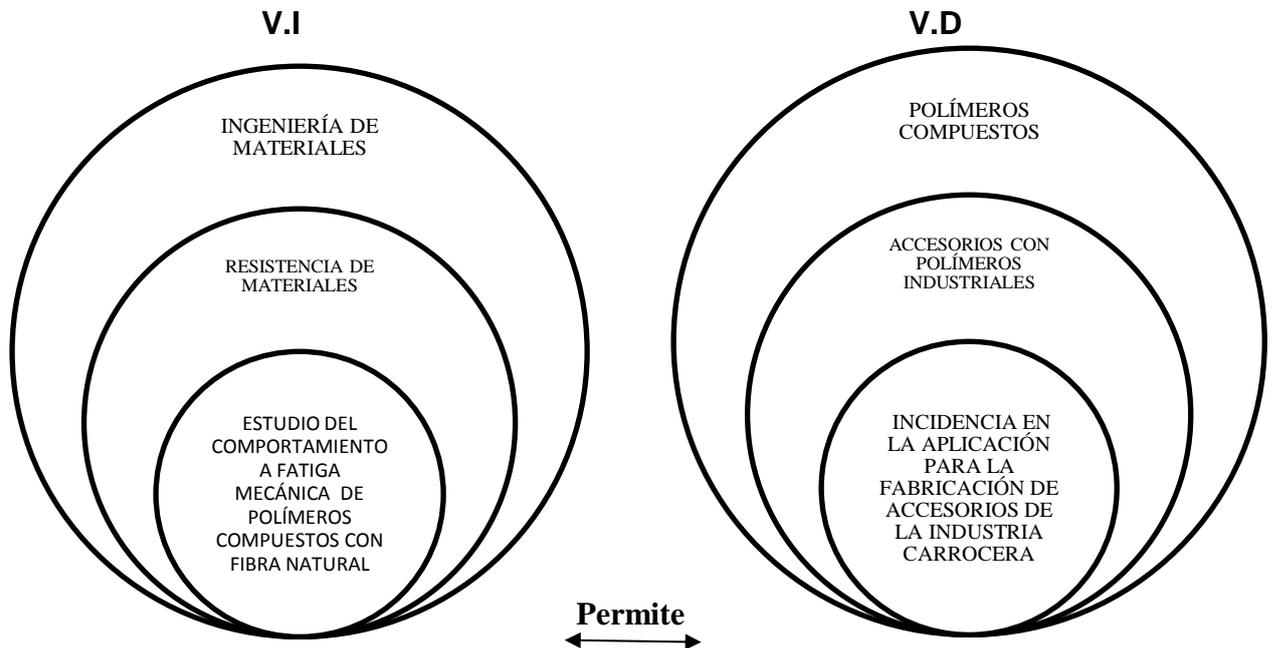
En la actualidad es posible un mejor estudio de la estructura y de las propiedades de los materiales gracias a una serie de equipos: microscopios electrónicos, maquinas universales, medidores de dureza, etc. Que permiten una medición adecuada de las mismas y por lo tanto un control de estas.

2.4 Fundamentación Legal

El presente trabajo se desarrollará mediante la aplicación de varias normas, entre ellas tenemos las siguientes:

- LEY DE GESTION AMBIENTAL, Codificación Titulo Ámbito y principios de la gestión ambiental, Artículo 2
- LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, Artículo 17
- ASTM D 671- 90 Ensayo de materiales para verificar el comportamiento a fatiga de los polímeros.
 - ASTM D 395 De formación permanente para cauchos.
 - ASTM D 573 Deterioro bajo condiciones de temperatura.
 - ASTM D 395 Determinación de propiedades bajo flexión para plásticos.
 - UNE 7118:1950 Clases y Ejecución de los ensayos de fatiga de los materiales metálicos.
 - CASA I+D-E Normas para ensayo de materiales.
 - ASTM E466 – 96, E739 – 91 Ensayos de fatiga
 - ASTM D 638 Probetas para ensayos de tracción

2.5 Categorías Fundamentales



2.6 Hipótesis

Con el estudio del comportamiento mecánico a fatiga de los polímeros compuestos con fibra natural se determinara la posibilidad de aplicación para la fabricación de accesorios de la industria Carrocera.

2.7 Señalamiento de Variables de la Hipótesis

2.7.1 Variable independiente

V. I = Estudio del comportamiento a fatiga mecánica de los polímeros compuestos con fibra natural

2.7.2 Variable dependiente

V.D = Determinar la posibilidad de aplicación para la fabricación de accesorios de la industria Carrocera.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

En la actualidad en lo referente a la producción y uso excesivo de polímeros sintéticos el medio ambiente se ha visto claramente afectado por todo el proceso de fabricación de los mismos, por lo tanto se deben tomar medidas que den una posible solución a dicho problema.

En esta investigación se ha determinado que los datos requeridos son la totalidad de material de origen vegetal que se obtiene en un determinado período de tiempo en un sector determinado para el estudio, porcentajes de esta que son aptos para fabricar productos que puedan servir a los consumidores para lo cual se usara un enfoque cuantitativo debido a que se realizara un análisis causa efecto y se lo aplicara a una realidad objetiva radicando en la precisión. Sin embargo es necesario también aplicar un enfoque cualitativo en vista de que se necesita contextualizar el estudio y en la necesidad de normas ASTM, en consecuencia se usara un enfoque mixto.

El cual está basado en el estudio de polímeros compuestos con fibra natural, las características mecánicas y físicas del compuesto reforzado con fibras naturales son generalmente dependientes del contenido de la fibra.

El papel de la fibra es absorber choques y dar al material resistencia mecánica, mientras que la matriz sirve para distribuir los esfuerzos mecánicos sobre la estructura entera y protege las fibras contra daño (sobre todo químico) ambiental.

3.2 Modalidad Básica de la Investigación

3.2.1 Modalidad de la Investigación

Para realizar el trabajo de investigación, se aplicó los siguientes tipos y procedimientos investigativos.

3.2.1.1 Investigación de Campo

La investigación de laboratorio es indispensable en este estudio en vista de que se ensayan probetas para la recolección de datos y someterlo a un análisis estadístico para determinar las medidas de tendencia central y desviación, para evaluar la fiabilidad de nuestro proyecto.

3.2.1.2 Investigación Bibliográfica

Porque el estudio necesito la utilización de folletos, textos, libros, normas y páginas web y electrónicas, para de esta manera podamos orientarnos adecuadamente y familiarizarnos con los parámetros que el estudio requiere.

La investigación se llevó a cabo con base en estudios bibliográficos:

Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales –Callister W.

Materiales Compuestos - Miravete, A., Larrodé, E., & Castejón, L.

Diseño en Ingeniería Mecánica- Shigley

3.2.1.3 Investigación Experimental

Se realizó mediante estudios, pruebas y análisis para obtener la curva esfuerzo vs número de ciclos de los polímeros compuestos con fibra natural.

3.3 Nivel o Tipo de Investigación

3.3.1 Exploratoria

Mediante este tipo de investigación se tuvo un mejor conocimiento sobre el problema que se estudió.

3.3.2 Descriptiva

Es fundamental, ya que mediante esta podemos describir paso a paso todo lo realizado en el estudio, los avances y los problemas que han surgido y sus posibles soluciones, también constara el nuevo conocimiento adquirido.

3.3.2 Experimental

Debido a que se realizarán ensayos sobre el comportamiento a fatiga por tracción de los polímeros compuestos con fibra natural para verificar sus propiedades mecánicas.

Finalmente con este tipo de investigación se analizó resultados obtenidos al combinar polímeros y fibra natural.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

- ✓ La población que se analizó es, resinas sintéticas dentro de estos se tomó en cuenta a:
 - Resina poliéster termoestables (polímeros termoestables)
- ✓ Fibra natural como:
 - Cascarilla de arroz
 - Fibras de cabuya
 - Aserrín proveniente de la madera

3.4.2 Muestra

Tamaño muestral: Con estos estudios se pretende hacer inferencias de valores poblacionales (proporciones, medias) a partir de una muestra.

Tamaño muestral para estimar una proporción

Si se desea estimar una proporción, debe conocerse:

- (a) El nivel de confianza o seguridad $(1 - \alpha)$. El nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente (Z_α) . Para un nivel de seguridad del 95% $\alpha = 1,96$, para un nivel de seguridad del 99% $\alpha = 2,58$;
- (b) La precisión que se desea para el estudio;
- (c) Una idea del valor aproximado del parámetro que se quiere medir (en este caso, una proporción). Esta idea se puede obtener revisando la literatura o mediante estudios pilotos previos. En caso de no tener dicha información se utilizará el valor $p = 0,5$ (50%).

$$n = \frac{Z_\alpha^2 * p * q}{d^2} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Si la población es finita, es decir se conoce el total de la población y se desea saber cuántos individuos hay que estudiar, la formula seria la siguiente:

$$n = \frac{N * Z_\alpha^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_\alpha^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Dónde: N es el total de la población

Z_α^2 Es el nivel de seguridad

p Es la proporción esperada

$$q = 1 - p$$

d Es la precisión

El coeficiente de Z_α varía según diferentes niveles de seguridad, así:

- Si la seguridad Z_a fuese del 90% el coeficiente sería 1,645;
- Si la seguridad Z_a fuese del 95% el coeficiente sería 1,96;
- Si la seguridad Z_a fuese del 97,5% el coeficiente sería 2,24;
- Si la seguridad Z_a fuese del 99% el coeficiente sería 2,576

3.5 Operacionalización de Variables

V.I. = Estudio del comportamiento a fatiga mecánica de los polímeros compuestos con fibra natural.

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos	
<p>- Fatiga es un Progresivo cambio estructural o rotura en un área localizada de un material que está sometido a la acción de fuerzas cíclicas repetidas por debajo de su resistencia a la tracción. Prueba o ensayo que se emplea para determinar el comportamiento de un material al ser sometido a una tracción axial; se trata de la prueba más corriente para materiales estructurales.</p> <p>Son básicamente el resultado de la combinación de materiales termoplásticos como el polietileno de alta y baja densidad, el polipropileno o el cloruro de polivinilo (PVC) con diversos productos de madera o materiales lignocelulosicos diversos.</p>	Fatiga Mecánica	Diámetro de Probetas	¿Qué número de ciclos hacen falta para que se inicie la deformación?	Observación directa	
	Tracción	Deformaciones	Flexibilidad		¿Qué esfuerzo menor que la resistencia última del material será necesario aplicar a la probeta?
	Falla de materiales Poliméricos	Resistencia a la fatiga	Número de ciclos o vida del material	¿Cuántas probetas son necesarias para determinar la cura S - N?	Ficha Nematécnica.
	Materiales Compuestos con fibra vegetal	Clase de Material	Propiedades mecánicas de los materiales	¿Qué medidas tendrá la probeta después de producirse la rotura?	Observación de Laboratorio
				¿Qué rangos de tolerancia serán los recomendados para grosor y longitud de las probetas de polímeros compuestos?	Registros
				¿Cuáles son las propiedades mecánicas más importantes de los polímeros compuestos?	Tabla de recolección de datos

Fuente: La Autora

V.D. = Determinar la posibilidad de aplicación para la fabricación de accesorios de la industria Carrocera.

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Para la utilización de los materiales en carrocerías, hay que seleccionarlos teniendo en cuenta factores tales como prestaciones, duración proceso de fabricación, disponibilidad de material, fiabilidad, etc., compatibilizando todo ello en un mínimo coste y un peso adecuado. Las exigencias varían según la función de dicho componente:</p> <p>Pieza estructural: Funcionalidad y seguridad.</p> <p>Pieza cosmética: No afecta demasiado a funcionalidad y seguridad.</p> <p>Luego se valida mediante ensayos. El comportamiento del material en la conformación y fabricación como en todo el proceso posterior (manipulación, reparación) estará marcado por sus propiedades físicas y mecánicas.</p>	<p>Carga Aplicada</p> <p>Numero de Ciclos hasta la falla</p> <p>Diseño</p> <p>Daño a la salud Humana</p> <p>Contaminación Ambiental</p> <p>Compuestos con fibras vegetales amigables con el medio ambiente</p>	<p>Peso</p> <p>Frecuencia</p> <p>Límite de fatiga</p> <p>Criterios de Falla</p> <p>Contaminantes</p> <p>Calidad del aire</p> <p>Contaminación de suelos, aire, agua</p>	<p>¿Qué propiedades mecánicas serán necesarias analizar para determinar su posible aplicación en la fabricación de accesorios de la industria Carrocera?</p> <p>¿Cuántas horas de vida útil tendrá el polímero compuesto?</p> <p>¿Qué diagramas serán los necesarios realizar para determinar la utilidad de los polímeros compuestos?</p> <p>¿Qué teorías de falla serán necesarias analizar para los polímeros compuestos?</p> <p>¿Existe un alto nivel de contaminación debido al uso de fibras sintéticas?</p> <p>¿Qué nuevos materiales servirán para aplicaciones en la industria carrocera?</p>	<p>Tabla de recolección de datos</p> <p>Registro</p> <p>Observación directa</p> <p>Ficha Nemotécnica</p>

Fuente: La Autora

3.6 Recolección de la Información

De acuerdo al desarrollo de la Operacionalización de variables se recolectara información por medio de las siguientes técnicas con sus respectivos instrumentos:

Tabla 3.3 Formas de recolección de la información

Técnicas	Tipos	Instrumentos	Instrumentos de Registro
Observación	<ul style="list-style-type: none"> - Directa-Indirecta - Participativa-No Participativa - Estructurada-No Estructurada - Individual-En equipo - De campo-Laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de Observación • Lista de Cotejo • Escala de Observación • Cuaderno de Notas • Ficha de Campo • Escalas Estimativas • Anecdotarios 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Papel y Lápiz ▪ Cámara Fotográfica ▪ Video Grabadora ▪ Grabadora de sonido
Revisión Documental		<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de Categorías 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Papel y Lápiz
Socio métricas	Test Socio métrico	<ul style="list-style-type: none"> • Test Socio métrico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Papel y Lápiz
Sesión en profundidad		<ul style="list-style-type: none"> • Guía de Observación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Papel y Lápiz ▪ Cámara Fotográfica ▪ Video Grabadora ▪ Grabadora de sonido

Fuente: La Autora

3.7 Procesamiento y Análisis

3.7.1 Plan de procesamiento

A continuación se presenta de manera detallada, el procedimiento para llevar a cabo la prueba de fatiga:

- 1) Se determina que material se utilizará para la prueba (esto depende del material en que se han fabricado las probetas previamente).
- 2) Hacer la gráfica S-N del material a emplear.
- 3) De acuerdo al material de las probetas, se procede a establecer el esfuerzo que se inducirá a las mismas. Este esfuerzo inducido equivale a un porcentaje del esfuerzo máximo o resistencia a la fatiga del material.
- 4) Medir el ancho y espesor de la probeta
- 5) Se procede a ubicar la probeta en la máquina de ensayo consistente de dos mordazas.
- 6) Verificar la sujeción de las mordazas para prevenir el resbalamiento.
- 7) La atmosfera del laboratorio debe estar aproximadamente entre $23 \pm 2^\circ \text{C}$.
- 8) Registrar el número de ciclos que ha resistido el material hasta presentar falla, este dato se obtiene del contador digital de ciclos.
- 9) Extraer las partes de la probeta (rota) utilizada de la máquina.

3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

A continuación se presenta de manera detallada, el procedimiento para analizar e interpretar los resultados de la prueba de fatiga por tracción:

- 1) Tabulación de los datos de acuerdo a la necesidad y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis, se elaborarán tablas en las que se indique:
 - a) Material.

- b) Dimensiones.
 - c) Tipo de carga aplicada.
 - d) Esfuerzo generado.
 - e) Frecuencia.
 - f) Número de ciclos hasta la falla.
- 2) Representación de los resultados obtenidos a través de las siguientes tablas y gráficos.
- a) Tablas de relación entre esfuerzo generado y número de ciclos hasta la falla.
 - b) Gráficos el esfuerzo generado con el número de ciclos hasta la falla.
 - c) Diagramas de caja para determinar datos anómalos.
- 3) Analizar y relacionar los resultados obtenidos con las diferentes partes de nuestra investigación y con los requerimientos planteados, para lo cual se realizó un análisis estadístico descriptivo y por último un análisis inferencial para poder hacer proyecciones necesarias para el diseño mecánico.
- 4) Interpretar los resultados obtenidos y establecer la posibilidad de utilizar estos materiales para la construcción de accesorios para la industria carrocera.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Determinación de Parámetros de Investigación

4.1.1 Determinación del Tamaño de la muestra

Para un nivel de confianza o seguridad y asumiendo datos de acuerdo a la ecuación 3.1 establecida anteriormente, se tiene el siguiente resultado.

Nivel de confianza o seguridad	Z_{α}	Precisión (d %)	Asumiendo Proporción p	$q = 1 - p$	T. muestra
					n
90%	1,645	0,05	0,03	0,97	31,50

Por lo tanto la muestra para realizar los ensayos será de 31 probetas de resina poliéster con fibra de cabuya, cascarilla de arroz y aserrín las cuales se realizarán bajo la norma ASTM D-638 para polímeros rígidos las mismas que se distribuirán para cada esfuerzo. Con un error del 5%.

4.1.2 Verificación de la frecuencia de aplicación de esfuerzo

De acuerdo con la norma ASTM D - 90 que nuestra la frecuencia recomendada para compuestos poliméricos con fibras tenemos lo siguiente:

- $F = 30 \text{ Hz}$ para pruebas de esfuerzo controlado que son realizadas bajo la norma ASTM D - 671, donde la relación de tensiones es $R = -1$, para fatiga por flexión

Para aplicación de esfuerzos también es recomendable verificar su frecuencia, la misma que puede ser revisada en la placa de su motor. Las recomendaciones de los métodos para pruebas de fatiga juega un papel clave en determinar una vida para accesorios de polímeros compuestos y

uso final, rendimiento, pre-selección para diversas aplicaciones industriales.

4.1.3 Relación de Esfuerzos

Para desarrollar correctamente su función a lo largo de su vida de servicio, un elemento debe conservar dos características primordiales. Primero debe mantener su capacidad de admitir carga sin que se produzca la rotura, que en todo momento y en cualquier zona de la pieza los estados de tensión no deben superar a la resistencia del material. En segundo lugar, debe conservar dentro de unos límites su rigidez para evitar que se produzca deformaciones excesivas.

La degradación por fatiga y todas sus medidas (las curvas S-N) son dependientes del tipo de tensión cíclica, por lo tanto, se precisa una correcta descripción de los parámetros que la definen.

Para definir esta tensión cíclica se necesitan también varios parámetros: valor de tensión máxima, tensión mínima, período, forma de la evolución temporal, etc. (ver figura 4.1) Mientras que algunos de ellos afectan mucho al comportamiento a fatiga del material, otros influyen de manera inapreciable. Así, comúnmente se admite que los valores de tensión máxima y mínima son parámetros importantes.⁴

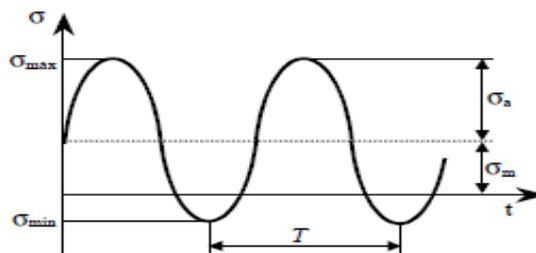


Figura.4.1 Carga cíclica típica de periodo T

Fuente: Modelo continuo a fatiga de predicción de vida, J.A Mayugo Majo – 2003

⁴ Modelo continuo a fatiga de predicción de vida, J.A Mayugo Majo - 2003.

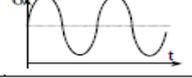
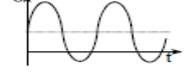
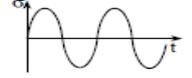
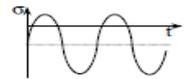
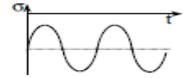
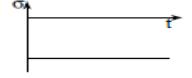
Tabla 4.1 Parámetros y expresiones para la identificación y modelización de la carga cíclica.

Tensión media	$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$
Tensión alterna (o relación de amplitud)	$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$
Índice de reversión (R)	$R \equiv \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$
Índice de reversión (Q) o de componente media	$Q \equiv \frac{\sigma_m}{\sigma_a} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}$

Fuente: Modelo continuo a fatiga de predicción de vida, J.A Mayugo Majo - 2003

Los distintos valores que pueden tomar R y Q permiten identificar la naturaleza de la tensión variable, es decir, si se trata de una tensión de solo tracción, de tracción – compresión o de solo compresión, tal como se observa a continuación.

Tabla 4.2 Parámetros y expresiones para la identificación y modelización de la carga cíclica. Tipo de la tensión cíclica en función

	Tracción Constante $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}; \sigma_{\max} > 0; \sigma_{\min} > 0$	$R = +1$ $Q \rightarrow +\infty$	
Para $\sigma_m > 0$	Tracción-Tracción $\sigma_{\max} > 0; \sigma_{\min} > 0$	$+1 > R > 0$ $+\infty > Q > +1$	
	Tracción-Compresión $\sigma_{\max} > 0; \sigma_{\min} < 0$	desde pulsante $R = 0$ hasta oscilante $+1 > Q > 0$ $R = -1$	
Para $\sigma_m = 0$	Tracción-Compresión oscilante $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$	$R = -1$ $Q = 0$	
Para $\sigma_m < 0$	Tracción-Compresión $\sigma_{\max} > 0; \sigma_{\min} < 0$	desde oscilante $R = -1$ hasta pulsante $-1 > R > -\infty$ $0 > Q > -1$ $R = -\infty$	
	Compresión-Compresión $\sigma_{\max} < 0; \sigma_{\min} < 0$	$+\infty > R > +1$ $-1 > Q > -\infty$	
	Compresión Constante $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}; \sigma_{\max} < 0; \sigma_{\min} < 0$	$R = +1$ $Q \rightarrow -\infty$	

Fuente: Modelo continuo a fatiga de predicción de vida, J.A Mayugo Majo - 2003

Como se indicó anteriormente el esfuerzo generado en una viga y el punto donde la probeta falla depende exclusivamente del esfuerzo, según la forma de funcionamiento de la máquina esquematizado en la figura siguiente:

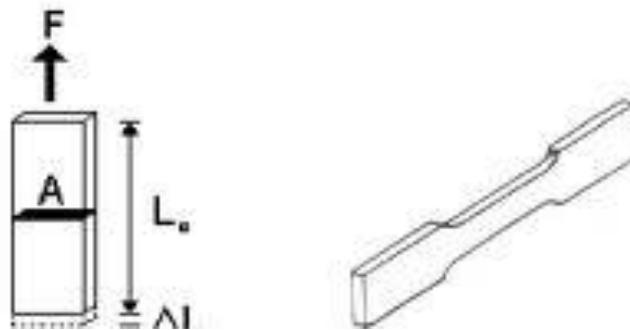


Figura.4.2 Deformación de la probeta

Fuente: Propiedades mecánicas de los Materiales

El esfuerzo es aplicado cíclicamente y no hay variación de la misma dado que el esfuerzo es aplicado en una sola dirección de la siguiente manera:

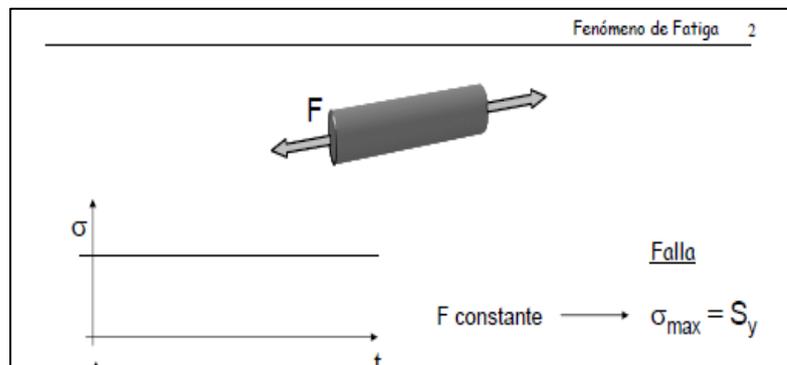


Figura.4.3 Variación del Esfuerzo

Fuente: Fenómeno de Fatiga

Por lo tanto la relación de esfuerzo es: $+1 > R > 0$

4.1.4 Análisis de Deflexión

Al determinar la deformación que se genera en la probeta se realizó un análisis de la deflexión, se toma en cuenta lo siguiente:

Los esfuerzos máximos a los que la probeta de polímero compuesto puede ser sometida.

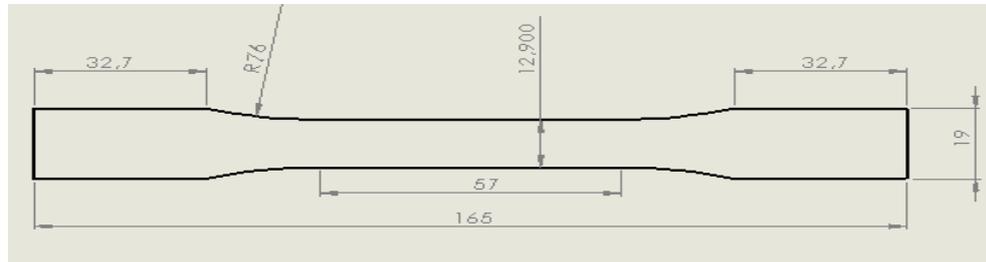


Figura.4.4 Probeta dimensiones requeridas

Fuente: La Autora

Módulo de Elasticidad de Poliésteres

Se asumió datos de propiedades mecánicas realizados en investigaciones anteriores se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 4.3 Propiedades de polímeros termoestables seleccionados

Nombre, unidad repetitiva	Estado	Densidad (g/cm ³)	Módulo elástico a tracción [ksi (GPa)]	Resistencia a la rotura [ksi (MPa)]	Elongación a la rotura (%)	T _g (°C)	T _m (°C)	Conductividad térmica (W/m-K)	Resistencia eléctrica (Ω-m)	Coefficiente de dilatación [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶]
Nilón 6,6 Poli(hexametilen adipamida)	30-40% cristalino	1,13-1,15	230-550 (1,58-3,79)	11-13,7 (76-94)	15-300	57	255-265	0,24	10 ¹² -10 ¹³	80
<chem>[*]N(CCC(=O)N(CCC(=O)N)C)C(=O)N(CCC(=O)N)C[*]</chem>										
Poli(tereftalato de etilo)	0-30% cristalino	1,29-1,40	400-600 (2,76-4,14)	7,0-10,5 (48-72)	30-300	73-80	245-265	0,14	10 ¹²	65
<chem>[*]C(=O)c1ccc(cc1)C(=O)OCCOC(=O)c2ccc(cc2)C(=O)O[*]</chem>										
Policarbonato Poli(bisferol-A Carbonato)	Amorfo	1,20	345 (2,38)	9,5 (65,5)	110	150	—	0,20	10 ¹⁵	68
<chem>[*]C(C)(C)c1ccc(cc1)OC(=O)c2ccc(cc2)C(=O)O[*]</chem>										
Termoestables										
Epoxi	Redes complejas, amorfos	1,11-1,40	350 (2,41)	4,0-13,0 (28-90)	3-6	—	—	0,19	~10 ¹⁴	45-65
Fenólico	Redes complejas, amorfos	1,24-1,32	400-700 (2,76-4,83)	5-9 (34-62)	1,5-2,0	—	—	0,15	10 ⁹ -10 ¹⁰	68
Poliéster	Redes complejas, amorfos	1,04-1,46	300-640 (2,07-4,41)	6-13 (41-90)	<2	—	—	0,19	10 ¹¹	55-100

Fuente: Adaptado de Modern Plastic Encyclopedic 1988. Copyinght 1987, MaGraw Hill, Inc. Reproducida con permiso.

De lo cual tenemos para poliésteres:

$$E_R = 2.07 \text{ GPa}$$

Módulo de Elasticidad de la fibra de cabuya

De la tabla 2.3 se tiene que para la fibra el módulo de elasticidad es el siguiente:

$$E_f = 7.5 \text{ MPa}$$

Asumimos un módulo de elasticidad del compuesto polimérico para lo mediante la siguiente ecuación determinamos dicho módulo de una manera aproximada:

$$E_c = E_F * V_f + E_m V_m \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$E_c = (7.5 \text{ MPa} * 0.10) + (2070 \text{ MPa} * 0.90)$$

$$E_c = 1863.75 \text{ MPa}$$

Los ensayos se realizaron empezando por un esfuerzo que se calculó tomando en cuenta las deformaciones impuestas que son regulables y un módulo de elasticidad calculado anteriormente, el esfuerzo inicial que se tomó para el primer ensayo fue el mínimo para determinar un número de ciclos inicial.

En los ensayos siguientes se incrementó la deformación y por lo tanto el esfuerzo, hasta que la probeta se rompa. Al tener la relación del esfuerzo en función del desplazamiento nos ha permitido que en la máquina se pueda regular la amplitud.

Mediante la ecuación:

$$\sigma = \varepsilon * E \quad \text{Ecuación 4.2}$$

De donde:

σ Esfuerzo que se produce en el material (MPa).

E Módulo de elasticidad material (MPa)

ε Elongación del material compuesto

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Ecuación 4.3

ΔL Incremento del desplazamiento (mm)

L Longitud en la cual se aplica el esfuerzo (mm)

Esfuerzo máximo desconocido, módulo de Elasticidad tomado de tablas de poliésteres y propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.

Tabla 4-4 Esfuerzos para Polímero Compuesto con Fibra de cabuya

Lo (mm)	Incremento de desplaz. ΔL (mm)	Lf (mm)	Elongación (ε)	E (MPa)	Esfuerzo (MPa)
57	0,5	57,5	0,009	1863,75	16,35
57	1	58	0,018	1863,75	32,70
57	1,5	58,5	0,026	1863,75	49,05
57	2	59	0,035	1863,75	65,39
57	3	60	0,053	1863,75	98,09
57	4	61	0,070	1863,75	130,79
57	5	62	0,088	1863,75	163,49
57	6	63	0,105	1863,75	196,18
57	7	64	0,123	1863,75	228,88
57	8	65	0,140	1863,75	261,58

Fuente: La Autora

4.2 Elaboración de Probetas

4.2.1.1 Metodología Experimental

Se describen los materiales empleados para la obtención de polímeros compuestos con fibra natural, residuos agroindustriales y los equipos utilizados, describiendo su uso y especificaciones. El desarrollo del ensayo para la obtención de datos de fatiga por tracción.

4.2.1.2 Objetivos

- Determinar los porcentajes de resina poliéster, residuos agroindustriales y fibra natural.
- Conocer la composición de la resina poliéster y sus aditivos.
- Elaborar probetas normalizadas de matriz polimérica con fibra natural y residuos agroindustriales.
- Obtener datos de números de ciclos a varios esfuerzos aplicados a las probetas de polímero compuesto con fibra natural y residuos agroindustriales.

4.2.1.3 Materiales y equipos para fabricar probetas, desarrollo del ensayo

Probetas

- Recipientes plásticos
- Resina Poliéster
- Aditivos (Cobalto, Peróxido, Estireno)
- Fibra de cabuya
- Material particulado como: aserrín y cascarilla de arroz
- Paletas de helado
- Guantes quirúrgicos
- Balanza Digital
- Goteros
- Moldes
- Prensas

Materiales para el ensayo

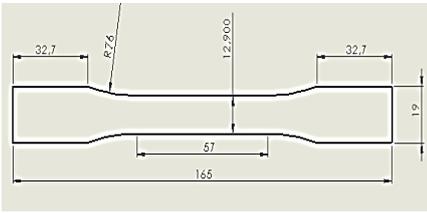
- Probetas normalizadas de matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y residuos agroindustriales como aserrín y cascarilla de arroz. Cada probeta posee los mismos porcentajes de fibra.

Parámetros Iniciales

Para el calcular un valor en gramos tanto de la fibra natural como de la resina y teniendo como datos el volumen total de la probeta y la densidad de cada una de las fibras y material particulado se emplea la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Tabla 4.5 Porcentajes de Refuerzo - Matriz

	% de Fibra-Matriz	Fracción Volumétrica
	$x_1 \rightarrow 10\% - 90\%$	$V_{x1} = 1,00 \text{ cm}^3$
	$x_2 \rightarrow 15\% - 85\%$	$V_{x2} = 1,50 \text{ cm}^3$
	$x_3 \rightarrow 20\% - 80\%$	$V_{x3} = 2,01 \text{ cm}^3$
	$x_4 \rightarrow 25\% - 75\%$	$V_{x4} = 2,51 \text{ cm}^3$
$V_T = 10,03 \text{ cm}^3$		

Fuente: La Autora

Tabla 4.6 Porcentajes para el aserrín

% de Material particulado	Vol. Material particulado (cm³)	ρ aserrín (gr/cm³)	Masa (gr)
10%	1	0,91	0,91
15%	1,5	0,91	1,37
20%	2,01	0,91	1,83
25%	2,51	0,91	2,28

Fuente: La Autora

Tabla 4.7 Porcentajes para cascarilla de arroz

% de Residuo Agroindustrial	Vol. Residuo agroindustrial (cm³)	ρ cascarilla de arroz (gr/cm³)	Masa (gr)
10%	1	0,95	0,95
15%	1,5	0,95	1,43
20%	2,01	0,95	1,91
25%	2,51	0,95	2,38

Fuente: La Autora

Tabla 4.8 Porcentajes para Fibra de cabuya

% de Fibra	Vol. Fibra (cm ³)	ρ cabuya (gr/cm ³)	Masa (gr)
10%	1	1,3	1,30
15%	1,5	1,3	1,95
20%	2,01	1,3	2,61
25%	2,51	1,3	3,26

Fuente: La Autora

4.2.1.4 Procedimiento

Elaboración de Probetas para ensayos mecánicos

Por el volumen de la probeta se ha determinado que el porcentaje de fibra idea es de 10%, ya que si elevamos el porcentaje de fibra es espacio para añadir la resina se disminuirá quedando solo la fibra.

En cuanto a la orientación de la fibra se ha recopilado investigaciones anteriores que demuestran las ventajas de que sea fibra continua y orientada en la dirección de la fuerza.

Pontón, Guerrero (2010, p.49) sostuvieron que “la fibra continua de abacá orientada longitudinalmente actuó como un refuerzo eficaz para el material compuesto, ya que produjo un aumento en el esfuerzo máximo a la tracción del material de aproximadamente 140% para una fracción volumétrica de 0.20 y un incremento comprendido entre 224 y 270% para fracciones volumétricas de 0.25 y 0.30. De las referencias bibliográficas se tiene que la resistencia a la tracción de la fibra de abacá está entre 430-760 MPa, mientras que la de la resina poliéster oscila en un rango de 40-90 MPa. La resistencia a la tracción superior de la fibra tuvo un efecto positivo en la resistencia a la tracción del material cuando la fibra estuvo orientada longitudinalmente, por el hecho que la carga fue aplicada en esta dirección. En las configuraciones con fibra corta de abacá distribuida aleatoriamente, la resistencia a la tracción de las fibras individuales no

contribuyó efectivamente al incremento del esfuerzo máximo a la tracción por los problemas antes citados, los cuales no se presentaron con la fibra continua. Esto sugeriría que probablemente existió un mejor anclaje mecánico de la fibra en la matriz y/o que el pre-mojado de la fibra pudo contribuir a una mejor interacción con la matriz, a pesar de la baja afinidad química entre el abacá y la resina poliéster, atribuyéndose el incremento en el esfuerzo máximo a la tracción de estos materiales básicamente a la configuración del refuerzo”

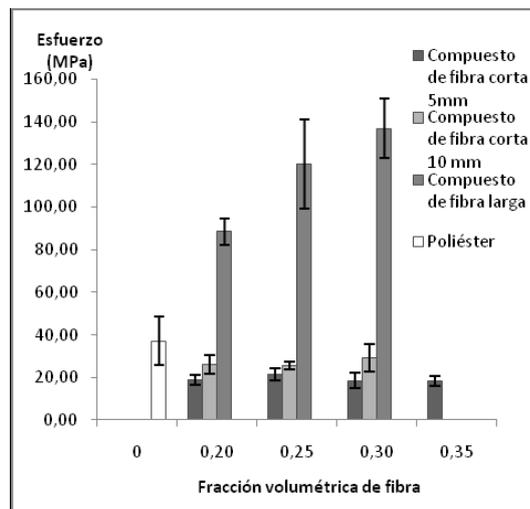


Figura.4.5 Esfuerzo máximo a la tracción de materiales compuestos de abacá poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra

Fuente: Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual Pontón P, Guerrero V. Escuela Politécnica Nacional Quito, Ecuador

Para iniciar con la fabricación de probetas se definieron las cantidades apropiadas de estireno o diluyente, iniciador (cobalto), catalizador (peróxido) que serán agregadas a la resina poliéster pura.

Pontón, Guerrero (2010, p.49) sostuvieron que para “pruebas realizadas en un estudio de: Obtención de materiales compuestos con matriz poliéster reforzados con fibra de abacá se tiene la siguiente composición. La totalidad de la resina 100% = 11% de estireno, 0.5% de cobalto, 0.75% de peróxido”.

Tabla 4.9 Porcentajes para aplicar aditivos a la resina

COMPOSICIÓN TOTAL	
25 cm^3	Resina
2.75 cm^3	Estireno
0.2 cm^3	Catalizador(Peróxido)
0.13 cm^3	Acelerador(Cobalto)

Fuente: La Autora

Proceso de elaboración de las probetas

- Inicialmente en los moldes se coloca una capa de cera de piso para evitar que la mezcla se pegue en los contornos.
- En la balanza se coloca la fibra y de acuerdo al porcentaje establecido.
- Para elaborar las probetas se preparó en un recipiente plástico 25 cm^3 de resina pura, de acuerdo a la cantidad de resina se agrega 2.75 cm^3 estireno y se mezcla.
- Se agrega de acuerdo a la cantidad de resina el cobalto y se mezcla.
- En la mezcla finalmente se coloca el peróxido de acuerdo a la cantidad de resina.



A



B

Figura.4.6 Preparación de resina poliéster

Fuente: La Autora

- En los moldes se coloca una capa de resina preparada y luego la fibra de cabuya y al final cubrir la fibra con la resina restante de esta manera se mejora la mojabilidad con las fibras.

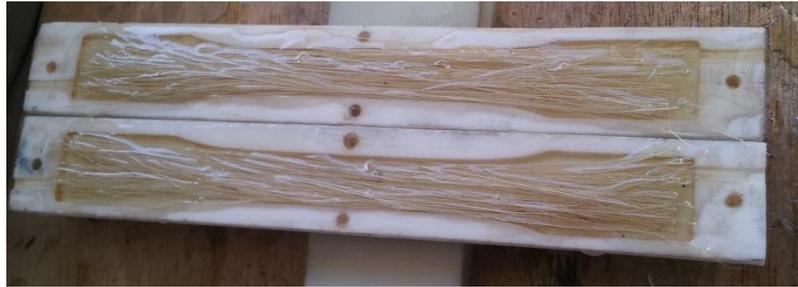


Figura.4.7 Resina compuesta con fibra de cabuya

Fuente: La Autora

- Finalmente colocamos las tapas de los moldes y utilizamos prensas pequeñas para presionar los moldes y obtener mejores resultados.
- El tiempo de curado necesario para desmoldar fácilmente la probeta fue de 4 horas.

Debido a que los moldes de las probetas fueron hechos de otro material polimérico no existieron problemas para desmoldar las mismas.



Figura.4.8 Molde de macho-hembra

Fuente: La Autora

4.2.1.5 Desarrollo del ensayo a fatiga por tracción

Para la evaluación de la resistencia a la fatiga por tracción de las probetas los ensayos se realizaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la U.T.A, en una máquina prototipo que se adaptó a las necesidades del ensayo de la siguiente manera:

- En primer lugar se revisó las dimensiones de la probeta según la Norma ASTM D638.

- Para no producir ningún daño que pudiera afectar el desempeño se señaló con un marcador el área de rotura de la probeta.
- Se colocó en las mordazas la probeta y finalmente las tapas que se sujetan con pernos en sus extremos.
- Se enciende la máquina y al mismo tiempo se inicial el ciclo de conteo de las revoluciones.
- Registrar el número de ciclos que ha resistido el material hasta presentarse la falla, este dato se obtiene del contador digital de ciclos.
- Extraer las partes de la probeta utilizada de la máquina.

4.3 Registro de Datos

4.3.1 Datos de Deflexión

Tabla 4-10 Esfuerzos y Número de Ciclos para polímero compuesto con 10% fibra de cabuya

# Prob.	Lt(cm)	b(cm)	h(cm)	L_o (mm)	L_f (mm)	ΔL (mm)	Elongación (ϵ)	E (MPa)	σ (MPa)	Ciclos N
A1	16,5	1,9	0,32	57	57.5	0,5	0,01	1863,75	16,35	1637500
A2	16,5	1,9	0,32	57	57.5	0,5	0,01	1863,75	16,35	1179000
A3	16,5	1,9	0,32	57	57.5	0,5	0,01	1863,75	16,35	1058000
A4	16,5	1,9	0,32	57	58	1	0,02	1863,75	32,70	589500
A5	16,5	1,9	0,32	57	58	1	0,02	1863,75	32,70	458500
A6	16,5	1,9	0,32	57	58	1	0,02	1863,75	32,70	425200
A7	16,5	1,9	0,32	57	58,5	1,5	0,03	1863,75	49,05	327500
A8	16,5	1,9	0,32	57	58.5	1,5	0,03	1863,75	49,05	262000
A9	16,5	1,9	0,32	57	58.5	1,5	0,03	1863,75	49,05	196500
A10	16,5	1,9	0,32	57	59	2	0,04	1863,75	65,39	5778
A11	16,5	1,9	0,32	57	59	2	0,04	1863,75	65,39	5418
A12	16,5	1,9	0,32	57	59	2	0,04	1863,75	65,39	4749
A13	16,5	1,9	0,32	57	59	2	0,04	1863,75	65,39	4481
A14	16,5	1,9	0,32	57	60	3	0,05	1863,75	98,09	1874
A15	16,5	1,9	0,32	57	60	3	0,05	1863,75	98,09	1777
A16	16,5	1,9	0,32	57	60	3	0,05	1863,75	98,09	1726
A17	16,5	1,9	0,32	57	61	4	0,07	1863,75	130,79	1274
A18	16,5	1,9	0,32	57	61	4	0,07	1863,75	130,79	1239
A19	16,5	1,9	0,32	57	61	4	0,07	1863,75	130,79	1208
A20	16,5	1,9	0,32	57	62	5	0,09	1863,75	163,49	350
A21	16,5	1,9	0,32	57	62	5	0,09	1863,75	163,49	260
A22	16,5	1,9	0,32	57	62	5	0,09	1863,75	163,49	237
A23	16,5	1,9	0,32	57	63	6	0,11	1863,75	196,18	98
A24	16,5	1,9	0,32	57	63	6	0,11	1863,75	196,18	87
A25	16,5	1,9	0,32	57	63	6	0,11	1863,75	196,18	56
A26	16,5	1,9	0,32	57	64	7	0,12	1863,75	228,88	26
A27	16,5	1,9	0,32	57	64	7	0,12	1863,75	228,88	21
A28	16,5	1,9	0,32	57	64	7	0,12	1863,75	228,88	20
A29	16,5	1,9	0,32	57	65	8	0,14	1863,75	261,58	8
A30	16,5	1,9	0,32	57	65	8	0,14	1863,75	261,58	5
A31	16,5	1,9	0,32	57	65	8	0,14	1863,75	261,58	4

Fuente: La Autora

4.3 Análisis Estadístico de los Ensayos con Probetas de Resina Poliéster y Fibra de Cabuya

4.3.1 Tabla Esfuerzo – Número de ciclos

De los datos obtenidos en los ensayos se ha determinado los esfuerzos σ generados en la probeta y el número de ciclos **N**

Tabla 4-11 Esfuerzos (log σ) y Número de Ciclos (N) con un 10% de fibra de cabuya

# Probeta	ΔL (mm)	Esfuerzo(MPa)	Ciclos N	Esfuerzo (log σ)	Ciclos (log N)
A1	0,5	16,35	1637500	1,214	6,21
A2	0,5	16,35	1179000	1,214	6,07
A3	0,5	16,35	1058000	1,214	6,02
A4	1	32,7	589500	1,515	5,77
A5	1	32,7	458500	1,515	5,66
A6	1	32,7	425200	1,515	5,63
A7	1,5	49,05	327500	1,691	5,52
A8	1,5	49,05	262000	1,691	5,42
A9	1,5	49,05	196500	1,691	5,29
A10	2	65,39	5778	1,816	3,76
A11	2	65,39	5418	1,816	3,73
A12	2	65,39	4749	1,816	3,68
A13	2	65,39	4481	1,816	3,65
A14	3	98,09	1874	1,992	3,27
A15	3	98,09	1777	1,992	3,25
A16	3	98,09	1726	1,992	3,24
A17	4	130,79	1274	2,117	3,11
A18	4	130,79	1239	2,117	3,09
A19	4	130,79	1208	2,117	3,08
A20	5	163,49	350	2,213	2,54
A21	5	163,49	260	2,213	2,41
A22	5	163,49	237	2,213	2,37
A23	6	196,18	98	2,293	1,99
A24	6	196,18	87	2,293	1,94
A25	6	196,18	56	2,293	1,75
A26	7	228,88	26	2,360	1,41
A27	7	228,88	21	2,360	1,32
A28	7	228,88	20	2,360	1,30
A29	8	261,58	8	2,418	0,90
A30	8	261,58	5	2,418	0,70
A31	8	261,58	4	2,418	0,60

Fuente: La Autora

En gráfica inicial se muestra la relación Esfuerzo vs Número de ciclos

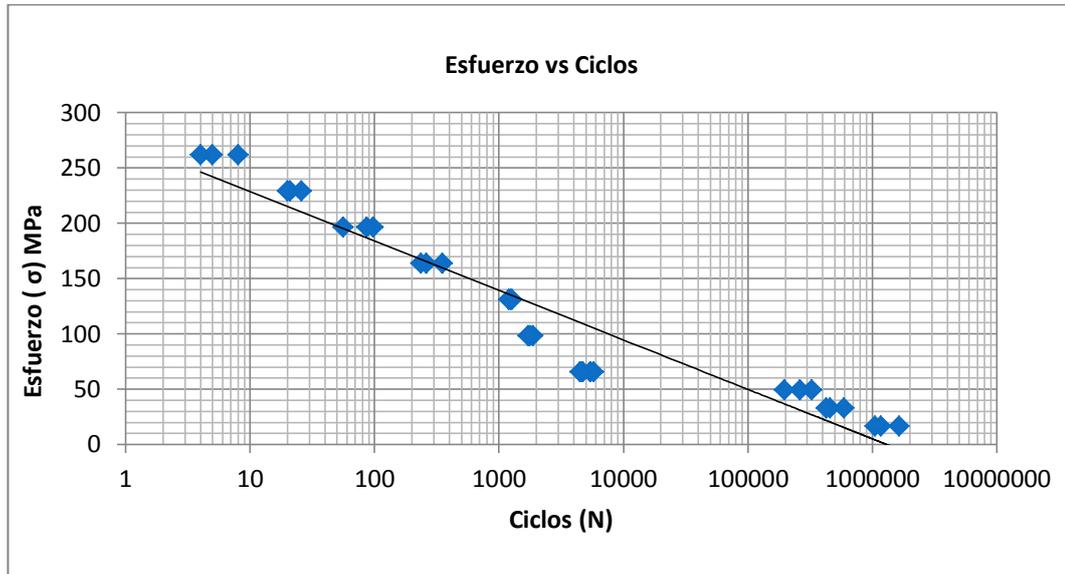


Figura.4.9 Esfuerzo vs Número de Ciclos

Fuente: La Autora

En la siguiente gráfica se muestra la relación Esfuerzo vs logaritmo del Número de ciclos

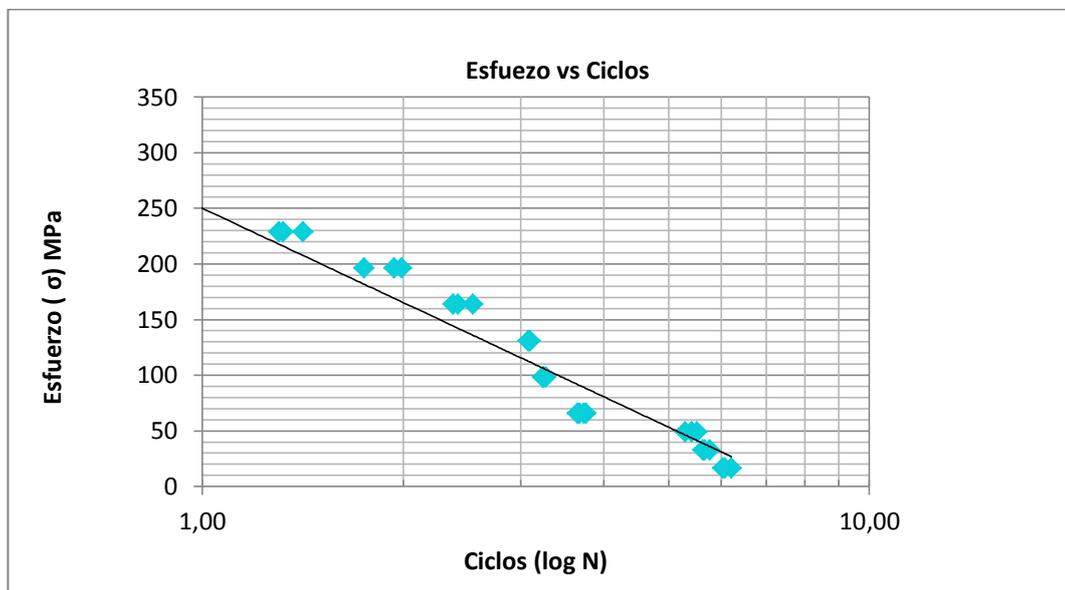


Figura.4.10 Esfuerzo vs Log Número de Ciclos

Fuente: La Autora

En esta última grafica se presenta log σ vs log N

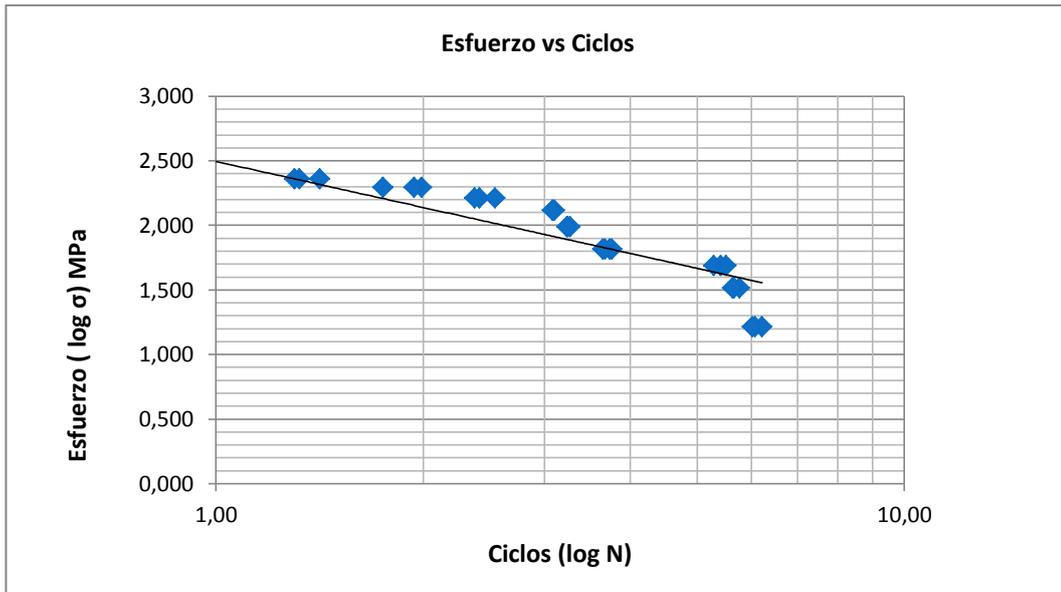


Figura.4.11 Esfuerzo (log σ) vs Log Número de Ciclos

Fuente: La Autora

4.3.2 Regresión S vs log N

La regresión corresponde a una Lineal, dada por esfuerzo vs log N corresponde a una Relación semilogarítmica.

La regresión lineal de los datos es:

$$\sigma = A + b \text{Log } N \quad \text{Ecuación 4.4}$$

En donde por factibilidad reemplazaremos los datos por:

$$Y = \sigma$$

$$X = \text{Log } N$$

Por lo tanto la ecuación anterior se representa de la siguiente manera:

$$Y = A + bX \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Para el cálculo de las constantes A y b se trabaja con las siguientes ecuaciones para las constantes de regresión:

$$\hat{b} = \frac{k \sum_{i=1}^k X_i Y_i - \sum_{i=1}^k X_i \sum_{i=1}^k Y_i}{k \sum_{i=1}^k X_i^2 - (\sum_{i=1}^k X_i)^2}$$

Ecuación 4.6

$$\hat{A} = \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}$$

Ecuación 4.7

De donde \bar{Y} y \bar{X} son las medias de los datos anteriores:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i$$

Ecuación 4.8

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i$$

Ecuación 4.9

Para realizar le regresión de σ vs $\log N$

Tabla 4-12 Esfuerzo Corregido para un polímero compuesto con 10% de fibra de cabuya

N ciclos	Esfuerzo Yi	$X_i = \log N$	X_i^2	$X_i * Y_i$	b	A	Yi Corregida	Yi-Yi Corregida
4	261,58	0,602	0,36	157,49	- 44,68	273,28	246,38	15,20
5	261,58	0,699	0,49	182,84	- 44,68	273,28	242,05	19,53
8	261,58	0,903	0,82	236,23	- 44,68	273,28	232,93	28,65
20	228,88	1,301	1,69	297,78	- 44,68	273,28	215,15	13,73
21	228,88	1,322	1,75	302,63	- 44,68	273,28	214,20	14,68
26	228,88	1,415	2,00	323,86	- 44,68	273,28	210,06	18,82
56	196,18	1,748	3,06	342,96	- 44,68	273,28	195,17	1,01
87	196,18	1,940	3,76	380,49	- 44,68	273,28	186,62	9,56
98	196,18	1,991	3,96	390,64	- 44,68	273,28	184,31	11,87
237	163,49	2,375	5,64	388,25	- 44,68	273,28	167,18	-3,69
260	163,49	2,415	5,83	394,82	- 44,68	273,28	165,38	-1,89
350	163,49	2,544	6,47	415,93	- 44,68	273,28	159,61	3,88
1208	130,79	3,082	9,50	403,10	- 44,68	273,28	135,57	-4,78
1239	130,79	3,093	9,57	404,54	- 44,68	273,28	135,08	-4,29
1274	130,79	3,105	9,64	406,13	- 44,68	273,28	134,54	-3,75
1726	98,09	3,237	10,48	317,52	- 44,68	273,28	128,65	-30,56
1777	98,09	3,250	10,56	318,76	- 44,68	273,28	128,08	-29,99
1874	98,09	3,273	10,71	321,03	- 44,68	273,28	127,05	-28,96
4481	65,39	3,651	13,33	238,76	- 44,68	273,28	110,14	-44,75
4749	65,39	3,677	13,52	240,41	- 44,68	273,28	109,01	-43,62
5418	65,39	3,734	13,94	244,16	- 44,68	273,28	106,45	-41,06
5778	65,39	3,762	14,15	245,98	- 44,68	273,28	105,20	-39,81
196500	49,05	5,293	28,02	259,64	- 44,68	273,28	36,77	12,28
262000	49,05	5,418	29,36	265,77	- 44,68	273,28	31,19	17,86
327500	49,05	5,515	30,42	270,52	- 44,68	273,28	26,86	22,19
425200	32,7	5,629	31,68	184,05	- 44,68	273,28	21,79	10,91
458500	32,7	5,661	32,05	185,13	- 44,68	273,28	20,33	12,37
589500	32,7	5,770	33,30	188,69	- 44,68	273,28	15,45	17,25
1058000	16,35	6,024	36,29	98,50	- 44,68	273,28	4,11	12,24
1179000	16,35	6,072	36,86	99,27	- 44,68	273,28	2,00	14,35
1637500	16,35	6,214	38,62	101,60	- 44,68	273,28	-4,37	20,72
Sumatoria	3792,89	104,716	447,836	8607,49				
Prom.	122,35	3,378						

Fuente: La Autora

Los datos obtenidos de las constantes son los siguientes;

$$b = -44.68$$

$$A = 273.28$$

Por lo tanto la nueva ecuación para la regresión sería la siguiente:

$$\sigma = -44.68 * \text{Log } N + 273.28$$

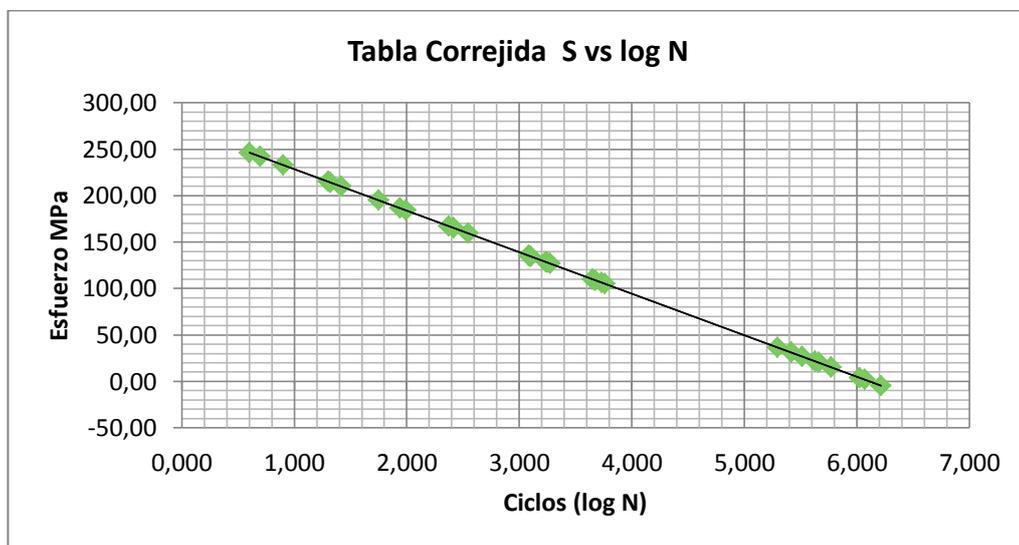


Figura.4.12 Esfuerzo Corregido vs Log Número de Ciclos

Fuente: La Autora

Del análisis de regresión se puede realizar un análisis estadístico descriptivo, para determinar: la tendencia central de los datos, dispersión.

A continuación se presentan dichos datos

Tabla 4-13 Estadísticas descriptivas: Ciclos (log N)

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Coef.Var	Mínimo
Ciclos(log N)	3,38	1,77	3,14	0,52	0,602
Variable	Mediana	Máximo	moda	Sesgo	Kurtosis
Ciclos(log N)	3,24	6,2	0	-0,19	-1,01

Fuente: La Autora

Para obtener datos realmente confiables es necesario realizar un análisis de confianza.

4.3.3 Intervalos de Confianza

Para determinar un intervalo en el cual con cierta probabilidad se encuentre un parámetro desconocido, en este caso es el número de ciclos hasta la falla, dado cierto valor del esfuerzo.

4.3.3.1 Intervalos de confianza para la media poblacional con muestras grandes

Sea X_1, \dots, X_n una muestra aleatoria grande ($n > 30$) de una población con media de μ y desviación estándar σ , por lo que es aproximadamente \bar{x} normal. Entonces un intervalo de confianza $100(1 - \alpha) \%$ para μ es:

$$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Donde $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$. Cuando el valor de σ es desconocido, se puede sustituir por la desviación estándar muestral s .

En particular,

$$\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Es intervalo de confianza de 68\% para } \mu. \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$\bar{x} \pm 1,645 \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Es intervalo de confianza de 90\% para } \mu. \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$\bar{x} \pm 1,96 \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Es intervalo de confianza de 95\% para } \mu. \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$\bar{x} \pm 2,58 \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Es intervalo de confianza de 99\% para } \mu. \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$\bar{x} \pm 3 \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Es intervalo de confianza de 99,7\% para } \mu. \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Datos iniciales

$$\bar{x} = \log N$$

$$\bar{x} = 3.38$$

$$n = 31$$

media poblacional = media muestral

$$\sigma = s$$

$$s = 1,77$$

Para un intervalo de confianza del 95%

$\bar{x} \pm 1,96 \frac{s}{\sqrt{n}}$ Es intervalo de confianza de 95% para μ .

$$3.38 \pm 1,96 \frac{1,77}{\sqrt{31}}$$

$$\text{Lim. superior} = 4.01$$

$$\text{Lim. inferior} = 2.75$$

Se tiene:

$$2.75 < X < 4.01$$

Como $x = \log N$

Tomando en cuenta el intervalo anterior se tiene que al aplicar un esfuerzo de 127 MPa puede tener una vida de 350 a 5778 ciclos de esfuerzo con una probabilidad del 95%.

4.4 Comprobación de la hipótesis

Para la realizar la prueba de hipótesis se ha realizado una comparación entre los datos calculados y los esperados que se obtuvieron de trabajos realizados anteriormente de resina y fibra de vidrio la misma que es de uso generalizado.

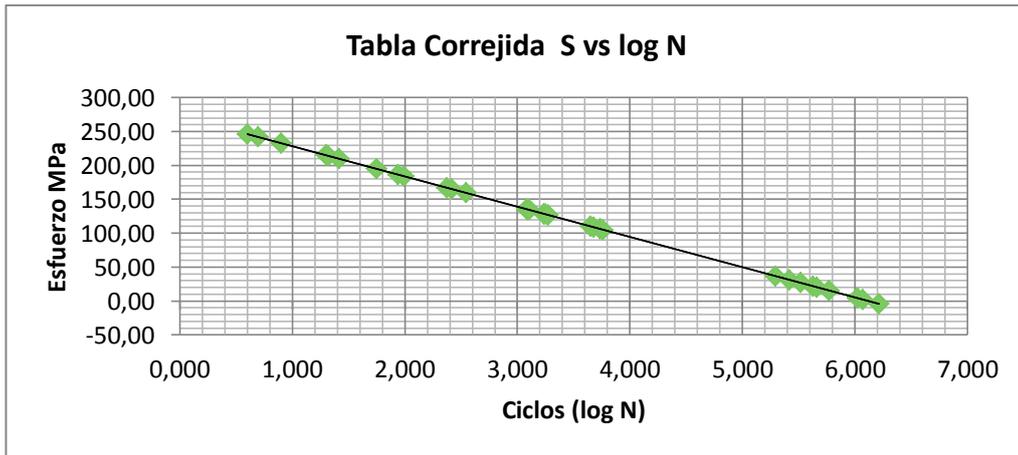


Figura.4.13 Esfuerzo Corregido vs Log de Número de Ciclos

Fuente: La Autora

De la cual tenemos un esfuerzo máximo de:

$$\text{Esfuerzo } \sigma_{m\acute{a}x} = 0.261 \text{ GPa}$$

Para realizar la comprobación de la hipótesis se ha tomado un esfuerzo máximo de un compuesto polimérico a base de resina Poliéster y fibra de vidrio el material compuesto representado en la siguiente figura:

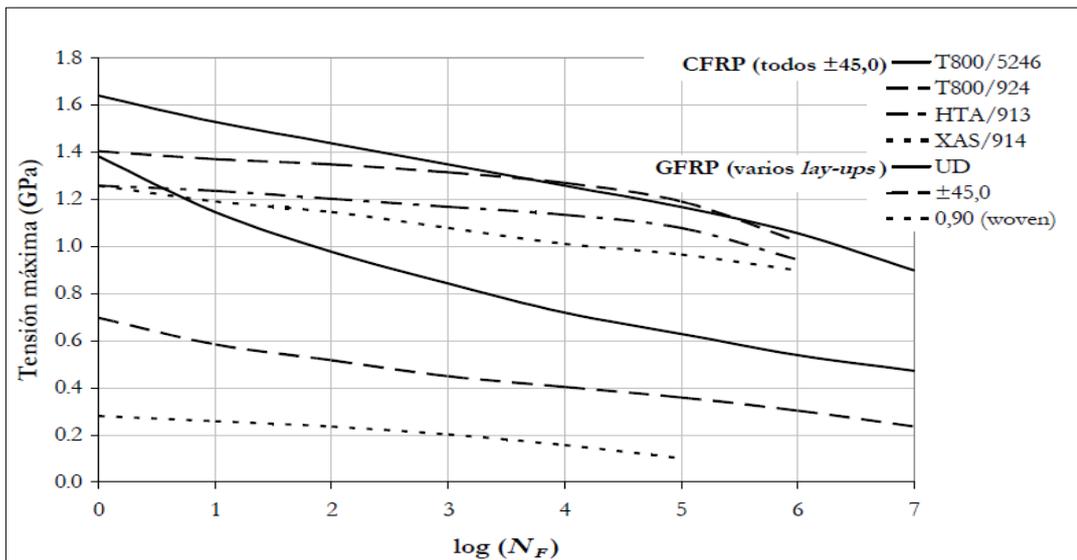


Figura.4.14 Curva esfuerzo vs Número de ciclos para configuraciones de materiales compuestos de fibra vidrio, carbono y resina poliéster.

Fuente: Estudio constitutivo de materiales compuestos laminados sometidos a cargas cíclicas, MAYUGO J.A, Barcelona, Julio de 2003.

De lo cual tenemos los siguientes datos:

Para un polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP).

Esfuerzo $\sigma_{m\acute{a}x} = 1.4 \text{ GPa}$

Esfuerzo para fibra tejida $\sigma_{m\acute{a}x} = 0.3 \text{ GPa}$

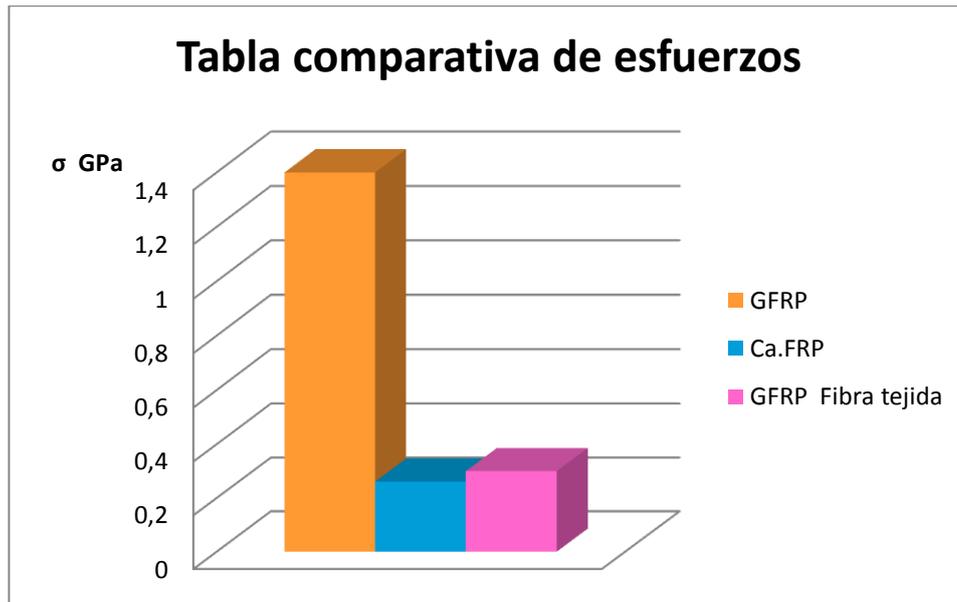


Figura.4.15 Esfuerzo Corregido vs Log Número de Ciclos

Fuente: La Autora

Al analizar los datos calculados vs los esperados suponiendo que la diferencia tiene distribución normal la prueba de hipótesis es de la siguiente manera:

$$H_o = \mu > 0$$

$$H_a = \mu < 0$$

Si se aprueba H_o querrá decir que la diferencia entre los datos calculados y los esperados es lo suficientemente significativa por lo que se podrá usar como materia prima para elaborar partes automotrices para la industria Carrocera.

Dado que los datos existentes son mayores que 30 ($n > 30$) se realiza la prueba de chi cuadrado X^2 :

$$X^2 = \frac{(Y_{cal} - Y_{esp})^2}{Y_{esp}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$X^2 = 0.93$$

Y para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ %, con 1 grado de libertad por ser muestras $n > 30$ y estar relacionadas el valor estadístico está dado por:

$$X_{tab}^2 = 3,84$$

Si $X_{cal}^2 < X_{tab}^2$, es decir $0.93 < 3,84$ entonces se acepta H_0 hipótesis nula, por lo que para un nivel de significancia de 0,05 existen datos suficientes para decir que las diferencias no son significativas por lo tanto los datos obtenidos poder ser usados en partes automotrices de la industria carrocería.

4.5 Metodología Experimental para la construcción de un accesorio para la industria carrocera

Se describen los materiales para la fabricación de un accesorio para la industria carrocera y la forma en la que se obtuvo el producto final. Para llevar a cabo la construcción se tuvo la facilidad de realizarlo en uno de los talleres que trabajan con fibra de vidrio y resina.

4.5.1 Objetivos

- Determinar los porcentajes de resina poliéster y de fibra natural de cabuya.
- Conocer la composición de la resina poliéster y sus aditivos.
- Elaborar un accesorio para la industria carrocera de matriz polimérica y fibra natural.

4.5.2 Materiales para fabricar un accesorio para la Industria carrocera

- Recipientes plásticos
- Molde de un accesorio de carrocería
- Cera de piso
- Desmoldante para fibra de vidrio
- Resina Poliéster
- Aditivos(, estireno, peróxido)
- Fibra de cabuya

Tabla 4.14 Porcentajes para fabricación de un accesorio con un volumen de 128 cm³

% de Fibra	Vol. Fibra (cm ³)	ρ cabuya (gr/cm ³)	Masa (gr)
10%	12,8	1,3	16,64
15%	19,2	1,3	24,96
20%	25,6	1,3	33,28
25%	32	1,3	41,60

Fuente: La Autora

Tabla 4.15 Porcentajes para fabricación de un accesorio con un volumen de 128 cm³

Vol. Resina (cm ³)	ρ resina (gr/cm ³)	Masa (gr)
115,2	1,28	147,5
108,2	1,28	138,5
102,4	1,28	131,1
96	1,28	122,9

Fuente: La Autora

4.5.3 Procesos utilizados para construir piezas o accesorios de polímeros reforzados con fibras (naturales o artificiales)

Los moldes se construyen de diversas maneras, en función de la forma de la pieza que se quiere obtener, dependiendo de la cantidad de piezas a producir, para producir piezas por unidades el proceso de conformado y en el momento de desmoldar será manual.

- En la construcción de una pieza de resina con fibra (natural o artificial), se debe tener una pieza original, o modelo de la que se sacará un molde.
- Se realiza una limpieza en el molde para evitar que algún tipo de suciedad se adhiera a la resina.
- Aplicar una capa de cera de piso en cubra todo el interior del molde, después mediante un trozo de tela se retira el exceso de cera hasta dejar una capa fina y una superficie interna brillante.
- Cubrir la superficie con desmoldante para fibra de vidrio, se debe dejar secar por 10 minutos.
- Una vez que se conoce los porcentajes de fibra y resina se procede a mezclar la resina con los aditivos de la siguiente manera:

Tabla 4.16 Porcentajes para aplicar aditivos a la resina para la fabricar un accesorio

COMPOSICIÓN TOTAL	
96 cm ³	Resina
10.56 cm ³	Estireno
0.72 cm ³	Catalizador(Peróxido)
0.48 cm ³	Acelerador(Cobalto)

Fuente: La Autora

- En una primera capa de resina esta se debe aplicar en estado puro para que se adhiera con mayor facilidad a los contornos del molde debido a que la resina es más espesa.
- Colocar la fibra natural de forma longitudinal y de manera que se distribuya en toda la superficie del molde.



Figura.4.16 Elaboración de un accesorio para carrocería con fibra de cabuya

Fuente: La Autora

- Finalmente aplicar la capa de resina preparada sobre la capa de fibra natural cubriendo de esta manera a la fibra por completo, la misma que por contener aditivos (estireno, peróxido, cobalto) disminuirá el tiempo de secado.
- Se debe esperar una hora aproximadamente para poder desmoldar la pieza de resina – fibra natural.



Figura.4.17 Accesorio para Carrocería

Fuente: La Autora

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Tomando en cuenta investigaciones realizadas con anterioridad se concluye que en un inicio la composición de la resina poliéster y sus aditivos debe hacerse de acuerdo con el trabajo para el cual este destinado el compuesto polimérico.
- Los porcentajes de fibra que han de estar incrustadas en el polímero están consideradas en relación con el volumen total de la probeta a ensayar.
- Se determinó que las probetas compuestas con aserrín y cascarilla de arroz no soportan el esfuerzo a fatiga por tracción lo que no nos ha permitido obtener ni un ciclo de vida, debido al tamaño de la fibra y por ser un material particulado no resiste a la tracción que se ejerce sobre la probeta produciéndose de manera inmediata la falla en la misma.



Figura.5.1 Falla de probeta con aserrín
Fuente: La Autora

- Teniendo como base estudios realizados de compuestos con diferentes orientaciones de fibra se determinó que la orientación de la fibra fue de suma importancia en la obtención del número de

ciclos dado que al estar en la misma dirección que la fuerza aplicada soporto más ciclos de vida.

- Con relación a las fibras usadas en el conformado del polímero compuesto se determinó que las fibras de cabuya son las que más ciclos resisten al ser sometidos a un esfuerzo por fatiga en tracción.



Figura.5.2 Falla de probeta con fibra de cabuya

Fuente: La Autora

- Se determinó que los polímeros compuestos conformados por la resina poliéster y la fibra de cabuya han elevado su resistencia al contener mayor porcentaje de fibra.



Figura.5.3 Falla de probeta con fibra de cabuya

Fuente: La Autora

- También se ha concluido que las fibras de madera aserrín y cascarilla de arroz que se muestran en las siguientes figuras, no son adecuadas ya que debido a que son fibras cortas no están distribuidas uniformemente en la probeta generando zonas en las cuales no exista refuerzo de la fibra únicamente resista la matriz de

resina y de este manera fractura se inicia en el mismo instante de aplicación del esfuerzo.



Figura.5.4 Falla de probeta con Aserrín
Fuente: La Autora



Figura.5.5 Falla de probeta con Cascarilla de arroz
Fuente: La Autora

- También se ha concluido que debido a que el polímero que se combinó con la fibra natural es un polímero termoestable no se produce una gran deformación del material.
- Para determinar el esfuerzo máximo soportado por la probeta se llegó hasta 1 ciclo de esta manera se estableció el esfuerzo máximo del polímero compuesto con fibra natural.
- Los polímeros compuestos con fibras naturales ofrecen nuevas ideas de cómo usar recursos naturales renovables para un futuro sostenible.
- La degradación de las fibras de cabuya durante los diferentes procesos utilizados en la elaboración de los compuestos, ha sido prácticamente despreciable y tan sólo cabe resaltar la pérdida de agua.
- En fabricación de accesorios para la industria carrocería al utilizar fibra de vidrio o fibra natural se sigue los mismos procesos no existe diferencia alguna en el conformado de los mismos.

- En el aspecto económico para la construcción de accesorios para la industria carrocera cabe resaltar que el precio de la fibra natural es mucho menor que la de fibra de vidrio.
- También se concluye que el accesorio compuesto con fibra natural-resina es similar en apariencia y características mecánicas a la constituida por fibra de vidrio.



Figura.5.6 Soporte de codera

Fuente: La Autora

5.2 Recomendaciones

- Para realizar las probetas se debe contar con los implementos de seguridad al manejar la resina poliéster y el aditivo dado que estos son altamente tóxicos.
- Que se debe realizar más ensayos a fatiga tomando en cuenta el trabajo que vaya a realizar el polímero compuesto ya que no siempre se encontrara sometido a fatiga por tracción.
- Determinar que tanto pueden influenciar las características de la fibra como por ejemplo: la humedad, el tamaño, la orientación de la fibra que se ha de mezclar con la resina poliéster.
- La mejor manera de utilizar la fibra natural es que la orientación de la misma debe estar en la misma dirección de la fuerza que actuará en las probetas.
- La superficie de la probeta a ensayar debe estar en perfectas condiciones ya que si tiene algún tipo de imperfección será por más propensa a iniciar la fractura en el momento del ensayo.

- Construir una máquina de ensayo a fatiga por tracción para polímeros compuestos, con la finalidad de seguir realizando estudios sobre los mismos.
- Ensayar con otros polímeros de uso industrial que puedan ser combinados con fibra natural para determinar sus propiedades mecánicas y la posibilidad de que puedan ser usadas como partes en la Industria carrocera.

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS A FATIGA POR TRACCIÓN PARA POLÍMEROS COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL

6.1 Datos Informativos

Para el ensayo a fatiga mecánica por tracción no existen normas específicas por lo que nos guiaremos en lo expresado en la norma ASTM D 671, que sirve para realizar ensayos a fatiga de polímeros, según dicha norma la probeta debe trabajar bajo los siguientes parámetros.

La frecuencia de aplicación para cargas a fatiga por flexión debe ser de $f = 30 \text{ Hz}$, con una relación de esfuerzo de $R = -1$, es decir con esfuerzos totalmente invertidos, en donde el esfuerzo a compresión es de igual magnitud que el esfuerzo a tracción y el esfuerzo es igual a cero.

En cambio para el ensayo a fatiga por tracción se utilizó la misma frecuencia, con una relación de esfuerzo $+1 > R > 0$, es decir con esfuerzos no invertidos, en donde solo existe un esfuerzo a tracción y el esfuerzo máximo > 0 ; esfuerzo mínimo = 0.

El procedimiento de ensayo para polímeros según la Norma ASTM D 671 consiste en ensayar probetas usando máquinas para vigas en cantiléver capaz de producir esfuerzos de amplitud constante en cada ciclo, una máquina mundialmente conocida es la máquina de ensayos SATEC SF-2U, representada en la figura 6.1 y reproducida en esta parte para mayor facilidad de comprensión, la característica principal de esta máquina es un rotor excéntrico montado sobre el eje de un motor que gira a velocidad

constante (aproximadamente 1800 rpm) este movimiento desbalanceado de la excéntrica produce una fuerza alternante, el número de revoluciones es contado mediante un circuito electrónico que se para cuando la probeta falla, la forma de las probetas son igualmente estandarizadas por la norma ASTM D 638 cuya configuración está representada en la figura 6.3 reproducidas en esta sección cuyo espesor varía entre 3 ± 0.5 mm aproximadamente.

Y para que la probeta tenga una fractura producida por fatiga a tracción se ha incorporado un mecanismo que se encuentre en las máquinas para ensayos a tracción, la misma que deberá servir para la sujeción de las probetas y para que el movimiento sea en una sola dirección.



Figura. 6.1 Máquina para ensayos de flexión plana modelo BSS-40H

Fuente: Tomada de Diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga de muestras planas por flexión alternativa, GEFREY G. RODRIGUEZ R. (Universidad Central de Venezuela)

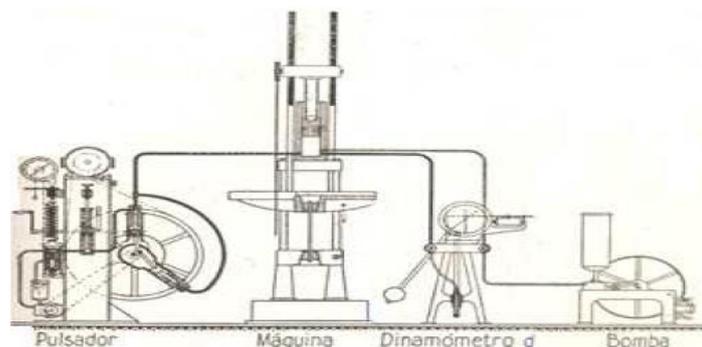


Figura. 6.2 Máquina Universal Trayvou para ensayo a tracción de polímeros

Fuente: Tomado de Rediseño y construcción de una máquina para ensayos de resistencia a la fatiga por flexión con viga rotatoria versión II, TOBAR M, CARRILLO J.

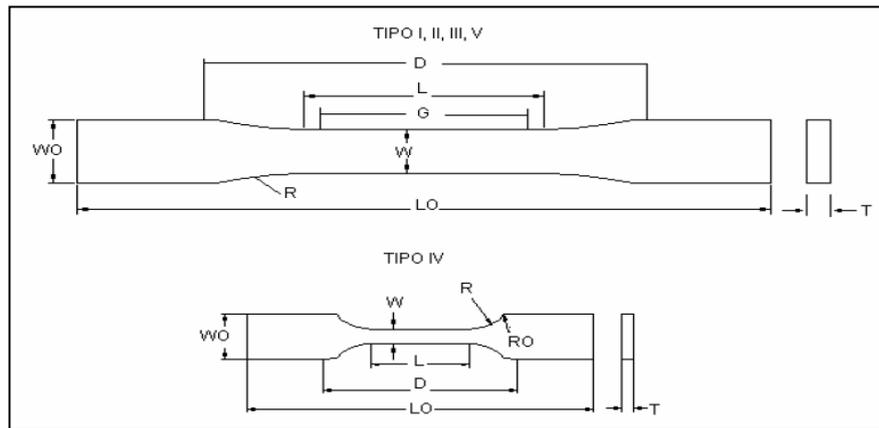


Figura 6.3 Clases de probetas para polímeros rígidos

Fuente: Tesis Diseño Mecánico de una máquina universal para Ensayos de polímeros.p.21

6.2 Antecedentes de la Propuesta

En la actualidad existe una gran inclinación a nivel mundial sobre la utilización de los polímeros compuestos con fibras vegetales como partes constitutivas en la industria automotriz y otros, con el fin de disminuir costos, peso y que constituyan una fuente renovable de materia prima, por tal motivo los polímeros compuestos han encontrado campos de aplicación en estos sectores o usos particulares donde se requiere más de una de las siguientes propiedades: Alta tenacidad, Rigidez, Buena resistencia a la abrasión, Buena resistencia al calor.

Existen una gran cantidad de medios de transporte tales como: embarcaciones, aviones, autobuses, autos entre otros que tienen componentes a base de polímeros compuestos.

En nuestro medio ha sido un gran problema el encontrar usos para polímeros compuestos con fibras vegetales porque hay muy poca información sobre las propiedades mecánicas entre ellas la resistencia y límite de fatiga, por lo que se ha creído conveniente construir una máquina que nos ayude a determinar el comportamiento a fatiga por tracción de este tipo de materiales compuestos, además que en nuestro país existe muy poco conocimiento sobre la utilización de este tipo de equipos de ensayo a fatiga.

6.3 Justificación

El diseño y construcción de una máquina para ensayos a fatiga mecánica por tracción de polímeros compuestos con fibras vegetales es importante ya que de esta manera la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica podrá disponer del equipo para ensayar nuevos materiales; considerando el aspecto tecnológico es posible construir máquinas más eficientes, silenciosas y livianas. En cuanto a la innovación si bien es cierto ya existen máquinas para ensayar materiales ferrosos, ahora ya podemos disponer en la facultad de una máquina para el ensayo de polímeros compuestos con fibras naturales. Otro aspecto fue la factibilidad tanto técnica como económica, ya que la máquina no es muy costosa ni tiene elementos complicados en su construcción.

Siendo la visión de la UTA consolidar su calidad, diversidad y respuesta a los requerimientos de la Educación Superior y de los sectores productivos, social y la misión satisfacer las demandas científico-tecnológicas de la sociedad ecuatoriana.

En la Facultad de Ingeniería Civil-Mecánica especialmente en la Carrera de Ingeniería Mecánica, existe la necesidad de implementar en su Laboratorio de Metalurgia equipos modernos, es por ello que se ha creído conveniente completar el presente trabajo con el diseño y construcción de una máquina de ensayos a fatiga mecánica por tracción para polímeros compuestos con fibras vegetales.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo General

Diseñar y construir una máquina de ensayos a fatiga para polímeros compuestos con fibra natural bajo algunos parámetros de la norma ASTM D 671.

6.4.2 Objetivos Específicos

Se pueden mencionar los siguientes:

- Determinar los parámetros necesarios para el diseño de la máquina de ensayos a fatiga mecánica por tracción de polímeros compuestos con fibra natural.
- Determinar la forma constitutiva y de funcionamiento para que la máquina a construir cumpla con dichas funciones y basada en algunos parámetros de acuerdo a la norma ASTM D 671. Y el desarrollo del ensayo se realizará bajo la Norma ASTM D638.
- Diseñar cada uno de los elementos que componen la máquina de ensayo a fatiga de polímeros compuestos con fibra natural.
- Determinar los parámetros necesarios para la selección de un motor adecuado de acuerdo a los requerimientos exigidos por la norma ASTM D 671.
- Seleccionar un sistema para determinar el número de ciclos hasta la falla de las probetas y un sistema de arranque y parada de la máquina.
- Elaborar los planos necesarios.
- Construir la máquina de ensayo a fatiga mecánica por tracción de polímeros compuestos con fibra natural.

6.5 Análisis de Factibilidad

El diseño y construcción de la máquina de ensayos a fatiga para polímeros compuestos con fibra natural de acuerdo con algunos parámetros de la norma ASTM D 671 es totalmente factible, ya que su construcción es un poco sencilla, los materiales existen en el mercado y el costo no es elevado es sustentado por la autora de este trabajo de investigación. El motor requerido que cumpla con la frecuencia $f = 30Hz$ se puede conseguir en nuestro medio, el circuito electrónico para el conteo de ciclos es de fácil adquisición y los perfiles necesarios para la estructura se encuentran disponibles en el mercado local.

6.6 Fundamentación

6.6.1 Determinación de Parámetros de Funcionamiento

De acuerdo a la norma ASTM D 671 se debe tener muy en cuenta los siguientes parámetros:

Frecuencia de aplicación de cargas

De acuerdo a la norma la frecuencia debe ser de 30 Hz, esto se logra mediante la utilización de un motor eléctrico de cuatro polos que nos da 1800 rpm.

$$f = 1800 \frac{rev}{min} \cdot \frac{1min}{60seg} = 30 \text{ ciclos}/seg$$

Amplitud de carga

La amplitud de carga se logra mediante un disco con ranura como la mostrada en la figura, mediante la cual podemos lograr un desbalance.

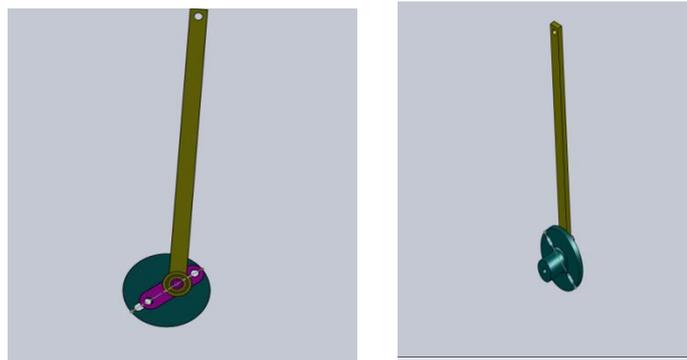


Figura 6.4 A y B Mecanismo de la máquina de ensayos

Fuente: La Autora

El balancín acoplado a este disco se puede regular mediante unos tornillos de fijación y establecer la fuerza aplicada a la probeta y provocar el esfuerzo requerido.

Relación de esfuerzo

Pero para el ensayo a fatiga por tracción se utilizó la misma frecuencia, con una relación de esfuerzo $+1 > R > 0$, es decir con esfuerzos no invertidos, en donde solo existe un esfuerzo a tracción y el esfuerzo mínimo es igual a cero.

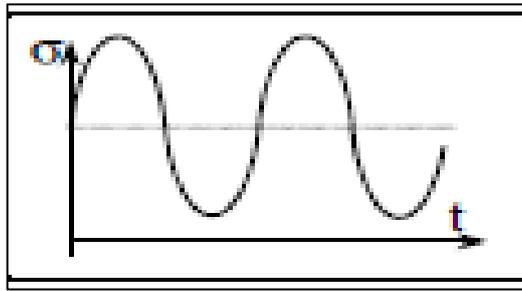


Figura.6.5 Diagrama de aplicación de fuerzas constante y variable
Fuente: Área de Ingeniería Mecánica-Fenómeno de Fatiga

6.6.2 Funcionamiento de la Máquina

Para que la máquina funcione cumpliendo los requisitos de la norma ASTM D 671 y para efectuar la rotura de la probeta por tracción bajo la norma ASTM D 638, debe tener una estructura similar a la esquematizada en la siguiente figura.

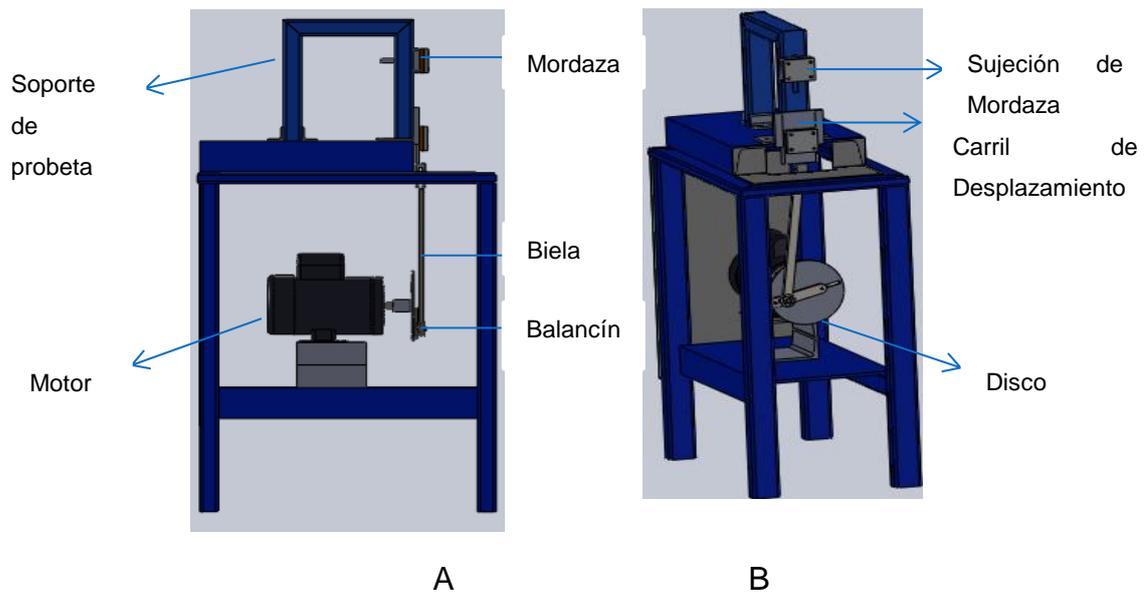


Figura.6.6 Estructura de la máquina
Fuente: La Autora

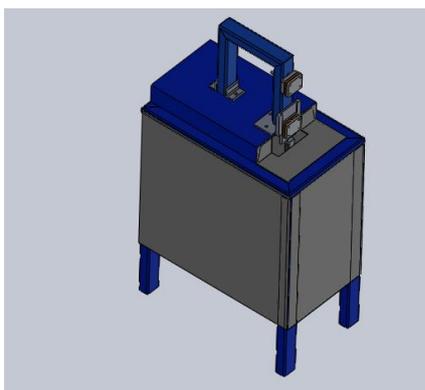


Figura.6.7 Estructura completa de la máquina

Fuente: La Autora

Una vez montada la probeta se enciende la máquina mediante una botonera la misma que está integrada con el circuito que contabiliza los giros del motor como se indica en la figura.



Figura.6.8 Arrancador del motor y circuito electrónico para contar el número de ciclos

Fuente: La Autora

En el mismo momento en que empieza a funcionar el motor también lo hace el contador automático de ciclos, el mismo que puede registrar tanto el número de vueltas del motor como el tiempo empleado hasta la falla de la probeta.

6.6.3 Diseño y Selección de los Elementos

6.6.3.1 Dimensionamiento del Disco

El dimensionamiento depende exclusivamente de la funcionalidad, ya que las cargas aplicadas son muy pequeñas en comparación con el

tamaño del mismo. La forma es como se muestra en la figura 6.9, en la que se observa que se requiere de unos canales o ranuras, la longitud de las ranuras depende de los elementos de acople del mecanismo biela manivela y debe garantizar un amplitud máxima de 12 mm necesaria para generar el esfuerzo requerido para la probeta.

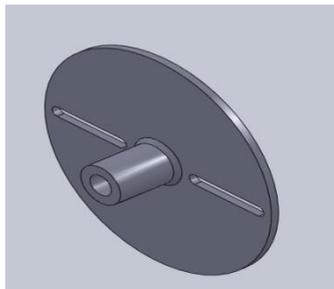


Figura.6.9 Disco

Fuente: La Autora

Diámetro disco = 170 mm

Espesor disco = 5mm

Largo de canaletas = 52 mm

Radio de la canaleta = 4mm

Largo del eje = 40mm

D. externo del eje = 30mm

d. interno = 16mm

Ahora es necesario determinar la inercia del disco para poder determinar la potencia en el arranque, dicha inercia se puede calcular haciendo referencia a la gráfica mostrada a continuación:

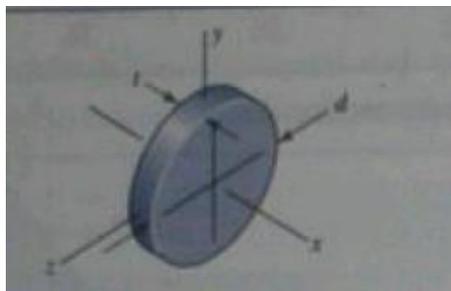


Figura.6.10 Parámetros para calcular la inercia de un disco

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley J.

Para el cálculo del volumen del cilindro

$$V = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} L$$

Ecuación 6.1

Se tiene que el volumen del cilindro es:

$$V = 2,02 * 10^{-5} m^3$$

Y la masa:

$$m = \delta.V = 0,158 Kg$$

Ecuación 6.2

Luego la inercia de cubo está representada por la siguiente relación:

$$I_x = \frac{m(D^2 - d^2)}{8}$$

Ecuación 6.3

$$I_x = 1,272 * 10^{-5} Kg.m^2$$

Y el momento angular es:

$$\tau = I.\alpha$$

Ecuación 6.4

En donde la aceleración angular para el motor considerando que la velocidad de régimen alcanza en 17 segundos según el catalogo correspondiente del motor:

$$\alpha = 11.088 rad/s^2$$

Utilizando las mismas ecuaciones se tiene para el disco

$$V = 1.125 * 10^{-4} m^3$$

$$m = 0.881 Kg$$

$$I_x = 3.15 * 10^{-3} kg.m^2$$

Por lo tanto la inercia total será:

$$I_x = 3.163 * 10^{-3} Kg.m^2$$

Luego el torque debido a la inercia calculamos con:

$$\tau = I.\alpha$$

$$\tau = 0.0349 \text{ Nm}$$

De la ecuación:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

En donde:

τ Es el torque debido a la inercia,

I Es el momento de inercia de la masa en este caso del disco, y α es la aceleración durante el arranque.

Reemplazando dichos valores se tiene:

$$\tau = 0.0349 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Luego la potencia del motor en el arranque para vencer la inercia del disco es:

$$P = T * \omega$$

Ecuación 6.5

Si la velocidad angular es:

$$\omega = 1800 \text{ rpm} = 188.5 \text{ rad/s}$$

Se tiene

$$P = 6.58 \text{ W}$$

6.6.3.2 Dimensionamiento del Balancín

Nuevamente las dimensiones dependen de la funcionalidad y su forma es como se muestra en la siguiente figura:

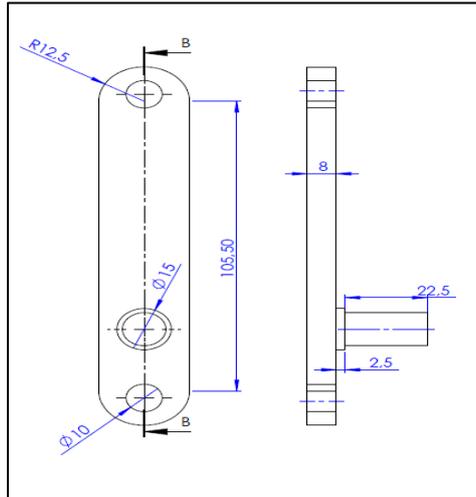


Figura.6.11 Balancín dimensiones

Fuente la Autora

El diámetro del eje se determina considerando que la carga aplicada es cíclica y genera esfuerzos cortantes no alternante es decir no existe torque y esfuerzo flexionante alternante. Para lo cual se ha determinamos la fuerza con la que el material se romperá:

Polímero termoestable-Fibra de Cabuya

Para un esfuerzo obtenido de investigaciones anteriores sobre resina poliéster – fibra de cabuya de $\sigma_{m\acute{a}x} = 55.66 \text{ MPa}$ tenemos:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = \sigma \times A$$

$$F = 55.66 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 4.1 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$F = 2282.06 \text{ N}$$

En donde el esfuerzo normal es:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Ecuación 6.6

$$\sigma = \frac{60.47 \text{ N m} * 0.008 \text{ m}}{0.1 * 10^{-8} \text{m}^4} = 483.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma}{2} = 241.89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 0$$

El esfuerzo tangencial es:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Ecuación 6.7

$$\tau = \frac{4*F}{\pi*d^2}$$

$$\tau_m = \frac{4 * 2282.06 \text{ N}}{\pi * (0.010\text{m})^2} = 30.43 \text{ MPa}$$

Según Von Misses el esfuerzo medio es:

$$\sigma_m = \sqrt{3\tau_m^2}$$

Ecuación 6.8

$$\sigma'_m = 52.71 \text{ MPa}$$

Y el esfuerzo alternante es:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

Ecuación 6.9

$$\sigma'_a = 241.89 \text{ MPa}$$

Utilizando la teoría de Gerber se tiene:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \left(\frac{\sigma'_m}{S_{ut}}\right)^2 = \frac{1}{n}$$

Ecuación 6.10

En donde:

n es el factor de seguridad.

S_e es el límite de fatiga del elemento

S_{ut} Es la resistencia última del material

$S_{ut} = 380 \text{ MPa}$ Para un acero AISI 1020

Por lo que el límite de fatiga del elemento será:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad \text{Ecuación 6.11}$$

El límite de fatiga de una probeta de viga rotatoria es:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ecuación 6.12}$$
$$S'_e = 190 \text{ MPa}$$

En la ecuación los términos k_i son los factores de Marín.

Factor de acabado superficial

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad \text{Ecuación 6.13}$$

Para maquinado el coeficiente a es 4.51 y el exponente b es -0.265, por lo que:

$$k_a = 0.934$$

Factor de tamaño

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} \quad \text{Ecuación 6.14}$$

$$k_b = 0.971$$

Factor de carga

Para flexión

$$k_c = 1$$

Factor de Temperatura

Para temperatura ambiente, aproximadamente de 20° C

$$k_d = 1$$

Factor de Confiabilidad

Considerando una confiabilidad del 50%, es decir $R = 0.50$

$$k_e = 1$$

Factor de efectos diversos

Para considerar los efectos diversos, en nuestro caso supondremos que se deben al criterio de falla (k_{f1}) y a la concentración de esfuerzos debido a la sensibilidad a los detalles (k_{f2}), por lo que el factor es:

$$k_f = k_{f1} \cdot k_{f2} \quad \text{Ecuación 6.15}$$

En donde para la teoría de Gerber

$$k_{f1} = 1.66$$

Luego

$$k_{f2} = \frac{1}{k_{f2}} = \frac{1}{1 + q(kt - 1)} \quad \text{Ecuación 6.16}$$

De la tabla 6.20 del libro de Shigley con un radio de entalle de 0.5 mm la sensibilidad a la muesca q es igual a 0.68.

De la gráfica A-15.9 del libro de Shigley para una relación de r/d igual a 0.05 y D/d igual a 1.3 se tiene que kt es igual a 1.82, por lo tanto:

$$k_{f2} = 0.642$$

Luego

$$k_f = 1.065$$

Considerando estos factores el límite de fatiga es:

$$S_e = 183.514 \text{ MPa}$$

Por lo que el factor de seguridad n es de 0.7

El factor de seguridad no es alto por lo que se realiza un chequeo a deflexión, que para una viga en voladizo es:

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

En donde:

E Es el módulo de elasticidad que para el acero de la tabla A-5 de Shigley es 207 GPa. I Es el momento de inercia.

Aplicando la carga de 33456 N se tiene:

$$\delta = 4.12 * 10^{-7} m$$

$$\delta = 4.12 * 10^{-4} mm$$

Obviamente menor a una milésima que se considera razonable, ya que se requiere que la deformación sea mínima para evitar errores en la generación del esfuerzo en la probeta a ensayar.

6.6.3.3 Dimensionamiento de la Biela

Para el dimensionamiento de la biela primero se tomará en cuenta los requerimientos para que cumpla su función, por lo tanto de acuerdo a la figura siguiente, la longitud de centro a centro de la biela debe ser de 300 mm y ancho de 20 mm, el diámetro interno del alojamiento será de acuerdo al rodamiento que posteriormente se seleccionará.

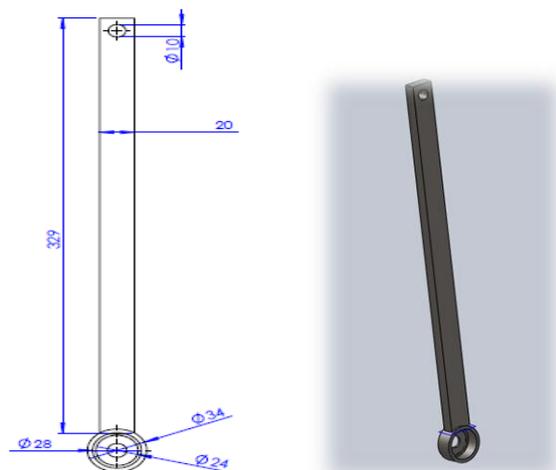


Figura.6.12 Biela dimensiones

Fuente la Autora

Lo que se tiene que verificar en el diseño mecánico es el espesor de platina con el cual es construido y el diámetro del orificio para la articulación que se unirá al brazo que transmitirá el movimiento.

- Determinación del espesor de la platina.

Para ello se debe tomar en cuenta la resistencia y la deformación.

Considerando la resistencia, la biela está sometida a una carga axial totalmente invertida, por lo que solo se genera esfuerzos normales.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 6.18}$$

En donde:

$$A = (b \times h)$$

La carga aplicada se determina en función de la potencia de 1 HP que en este caso asumimos para la siguiente ecuación:

$$H = \frac{W^t \cdot V}{33000} \quad \text{Ecuación 6.19}$$

Desarrollando para W^t se tiene:

$$W^t = \frac{33000 H}{V}$$

En donde:

H Es la potencia en (Hp).

V Es la velocidad en la línea de paso (*pies/min*).

W^t Es la carga tangencial (N).

$$V = \frac{\pi * d * n}{12}$$

En este caso d es el diámetro de la circunferencia descrita por el eje al cual va montado el rodamiento, que a su vez sería el doble de la amplitud máxima, que de acuerdo a los ensayos fue de 16 mm . Es decir 0.052 pies

Por lo que:

$$V = 24.504 \text{ pies/min}$$

$$W^t = 1346.719 \text{ libf} = 5979.432 \text{ N}$$

Para la selección del motor en este caso recurrimos a comparar el esfuerzo necesario para romper la probeta de polímero compuesto es de resina poliéster – fibra de cabuya de $\sigma_{m\acute{a}x} = 55.66 \text{ MPa}$ tenemos:

$$F = 2282.06 \text{ N}$$

$$W^t = 5979.432 \text{ N}$$

$$W^t > F$$

Por lo que asumimos la potencia del motor de 1 HP para el funcionamiento de la máquina de ensayo a fatiga por tracción.

Ahora considerando la deformación, de acuerdo a la recomendación dado en el libro de Mc Cormac, la relación de esbeltez para elementos principales y evitar vibraciones no debe ser superior a 90, entonces, en este caso tomaremos un valor igual a 40.

$$\frac{kL}{r} = 40$$

Desarrollando para r se tiene:

$$r = \frac{kL}{40}$$

En donde k es un factor o condición de apoyo, para elementos articulados en ambos extremos es igual a 1 y $L = 330 \text{ mm}$, por lo tanto el radio de giro mínimo debe ser de:

$$r = 8.25 \text{ mm}$$

Tomamos una platina de 20 mm y de 6 mm de espesor, para el cual el área es de 120 mm², considerando un factor de seguridad de 2 se tiene que el esfuerzo es de:

$$F = 2282.06 \text{ N}$$

$$F_{fs} = 4564.1 \text{ N}$$

$$A = 120 \text{ mm}^2 = 1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = 38.03 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 38.03 \text{ MPa}$$

Como el esfuerzo es completamente invertido se debe calcular el límite de fatiga.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e$$

El límite de fatiga de una probeta de viga rotatoria es:

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

Si la platina es de acero ASTM A 36 la resistencia última a la tracción es de 58 KPsi, es decir 399.89 MPa, por lo tanto:

$$S'_e = 199.95 \text{ MPa}$$

En la ecuación los términos k_i son los factores de Marín.

Factor de acabado superficial

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Para laminado en caliente el coeficiente $a = 57.7$ y el exponente

$$b = -0.718 \text{ Por lo que:}$$

$$k_a = 0.78$$

Factor de tamaño para figuras rectangulares:

$$d_e = 0.0808(h * b)^{1/2}$$

$$k_b = \left(\frac{d_e}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 1.26$$

Factor de carga

Para carga axial

$$k_c = 0.85$$

Factor de Temperatura

Para temperatura ambiente, aproximadamente de 20° C

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad

Considerando una confiabilidad del 50%, es decir $R = 0.50$

$$k_e = 1$$

Factor de efectos diversos

Para considerar los efectos diversos, en nuestro caso suponiendo que se deben al criterio de falla (k_{f1}) y a la concentración de esfuerzos debido a la sensibilidad a los entalles (k_{f2}), por lo que el factor es:

$$k_f = k_{f1} \cdot k_{f2}$$

En donde para la teoría de Gerber

$$k_{f1} = 1.66$$

Luego

$$k_{f2} = \frac{1}{k_{f2}} = \frac{1}{1 + q(k_t - 1)}$$

Como no existen entalles, el factor que es igual a uno.

De la gráfica A-15-1 del apéndice del libro de Shigley 8va edición, ANEXO K para una relación entre el diámetro del agujero que es de 6mm y el ancho de la placa que es de 20 mm se tiene que K_t es igual a 2.32, por lo tanto:

$$k_{f2} = 0.431$$

Luego

$$k_f = 0.7155$$

Considerando estos factores el límite de fatiga es:

$$S_e = 119.51 \text{ MPa}$$

$$n_d = \frac{S_Y}{S_e}$$

$$n_d = 2.094$$

Por lo que el factor de seguridad de n es de 2.094, que en este caso es aceptable, por lo que la platina seleccionada es adecuada para el diseño.

6.6.3.4 Selección del Rodamiento

Para la selección del rodamiento se debe tener en cuenta los parámetros de funcionamiento tales como la carga aplicada y la velocidad de funcionamiento entre otros que se verán más adelante.

De lo establecido anteriormente se puede deducir que la carga máxima aplicada es de 2282.06 N y como se sabe la velocidad de rotación del disco es de 1800 rpm.

Para la selección del rodamiento se parte de que la carga es puramente radial, por lo que se decide seleccionar un rodamiento rígido de bolas. Se

pretende que la confiabilidad sea de 95%, la temperatura de funcionamiento sea no muy superior a la ambiental y el grado de limpieza del lubricante normal.

Con estos datos de entrada se calcula en primer lugar la capacidad básica dinámica con la siguiente fórmula.

$$C = P^p \sqrt{\frac{Lh * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{2-3}}}$$

En donde

Lh Es la durabilidad en horas.

n Es la velocidad en rpm

a_1 Es el factor de confiabilidad

a_{2-3} Es un factor de condición de uso y servicio.

p es el exponente de vida del rodamiento.

P es la carga dinámica equivalente(N), y

C es la capacidad básica dinámica (KN).

Lh Se obtiene de la siguiente ecuación (horas).

$$fl = \sqrt[p]{\frac{L_{h10}}{500}}$$

Como fl se tiene valores entre 3 y 5 para máquinas herramientas según tablas del apéndice, tomamos $fl = 3.5$ y el exponente de vida para rodamientos rígidos de bolas es de 3, determinamos el valor de $L_{h10} = 21437.5$ horas.

Para una confiabilidad del 95% se tiene que $a_1 = 0.62$. Considerando un factor de seguridad de 2 para la carga se tiene que $P = 4564.12 N$

Inicialmente nos imponemos el factor de $a_{2-3} = 2$

Por lo tanto $C = 56.20 \text{ KN}$

Tomamos un rodamiento FAG S6000, para el cual:

$d = 10 \text{ mm}$

$D = 26 \text{ mm}$

$B = 8 \text{ mm}$

Por lo tanto el diámetro medio $d = 13 \text{ mm}$

Del diagrama se requiere una viscosidad relativa aproximadamente de 35 cSt. Para una temperatura de servicio de 50°C se requiere una viscosidad de por lo menos 68 cSt es decir un aceite ISO VG 68, el cual tiene dicha viscosidad a la temperatura estándar de 40°C . La relación de viscosidad k es de 1.2 se tiene un factor $a_{2-3} = 1.9$ aproximadamente.

Ahora la capacidad básica dinámica es de:

$C = 56.20 \text{ KN}$

Con este dato se selecciona nuevamente el rodamiento S6000.

6.6.3.5 Dimensionamiento Soporte para mordaza inferior y superior

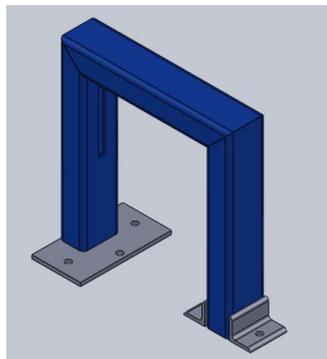


Figura.6.13 Soporte para carril de mordaza inferior

Fuente: La Autora

Tabla 6-1 Dimensiones del soporte de probeta

Dimensiones Tubo rectangular	Valor (mm)	Dimensiones Platina	Valor (mm)
Base	40	Base	45
Ancho	60	Ancho	90
Espesor	4	Espesor	4
Altura	350		

Fuente la Autora

Las dimensiones del soporte dependen de los desplazamientos que se vayan a realizar para aplicar los esfuerzos necesarios en la probeta del polímero compuesto.

Se realizará un análisis de deflexión con el fin de garantizar una gran exactitud de los datos obtenidos en los ensayos y evitar un posible fallo por el material usado para el soporte de mordazas.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

De donde:

F fuerza necesaria para que se rompa el polímero compuesto (factor de seguridad $n = 2$)

A área de la sección rectangular

$$\sigma = 11.88 \text{ MPa}$$

$$S_y > \sigma$$

$$250 \text{ MPa} > 11.88 \text{ MPa}$$

$$n_d = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n_d = 21.04$$

Dado un factor de seguridad es elevado y un esfuerzo mínimo en comparación al límite de fluencia del material se puede seleccionar el material establecido para la construcción del soporte de mordazas.

6.6.3.6 Dimensionamiento de la Mordaza

Para la fabricación de la mordaza que contendrán los extremos de la probeta se realiza el maquinado en acero.

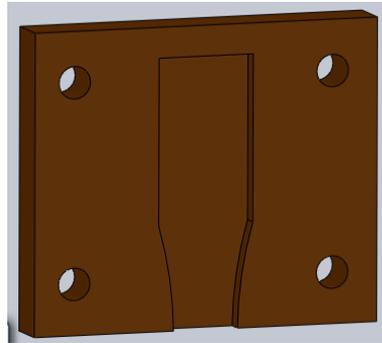


Figura.6.14 Mordaza dimensiones

Fuente la Autora

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = 10.87 \text{ MPa}$$

$$S_y > \sigma$$

$$250 \text{ MPa} > 10.87 \text{ MPa}$$

$$\diamond n_d = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$\diamond n_d = 22.99$$

En consideración a lo obtenido en los cálculos realizados y con un factor de seguridad relativamente alto, se puede garantizar que el material seleccionado es apto para la máquina.

6.6.3.7 Bancada

Para un adecuado diseño de la bancada se selecciona tubos estructurales, los mismos que deben albergar todos los elementos con los que la máquina de ensayo de fatiga mecánica por tracción debe funcionar.



Figura.6.15 Esquema de la Bancada

Fuente la Autora

Cálculo para Perfiles Verticales

Cuando se trata de la selección del tubo estructural adecuado analizaremos el mismo como una columna sobre la cual existe una carga a compresión axial representada en la fig.6.15

Determinamos las cargas que la bancada soporta en su totalidad y adicionalmente añadiremos el peso de un persona.

Peso del soporte de mordaza $W_{sm} = 3.5 \text{ Kg}$

Peso de una persona promedio $W_p = 70 \text{ Kg}$

$W_T = 73.5 \text{ Kg}$

Al haber determinado la carga que soporta la estructura, procedemos a dividir la carga para el número de columnas que pese la bancada.

$$W_p = W_T / 4$$

$$W_p = 18.38 \text{ Kg}$$



Figura.6.16 Representación de la columna

Fuente la Autora

Iniciamos asumiendo una relación de esbeltez de:

$$\frac{kL}{r} = 50$$

Mediante la relación de esbeltez se determina F_a del Anexo J:

$$F_a = 19.190 \text{ Klb/plg}^2$$

$$P = A * F_a$$

Ecuación 6.20

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

$$A = \frac{0.040 \text{ Klb}}{19.190 \text{ Klb/plg}^2}$$

$$A = 0.00208 \text{ plg}^2$$

Además cabe recalcar que se seleccionó un perfil de mayores dimensiones y peso debido a que disminuirá las vibraciones que se producen por el motor.

Comprobación:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Ecuación 6.21

$$r = 1.48 \text{ plg}$$

Con el valor de la área en el anexo I determino el perfil adecuado, pero en vista de que el valor del área es muy pequeño seleccionamos uno que es de fácil adquisición en el mercado local como lo es el perfil estructural rectangular de 60x40x4 mm ($A = 8.36 \text{ plg}^2, I_y = 18.4 \text{ plg}^4$)

$$\frac{K L}{r} = \frac{1(12 * 2.62)}{1.48}$$

$$\frac{K L}{r} = 21.2$$

Mediante la relación de esbeltez se determina F_a del Anexo J:

$$F_a = 20.600 \text{ Klb/plg}^2$$

$$P = F_a * A$$

$$P = 20.600 \text{ Klb/plg}^2 * 8.36 \text{ plg}^2$$

$$P = 172.22 \text{ Klb}$$

$$172.22 \text{ Klb} > 0.040 \text{ Klb}$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{F_a}$$

$$n = \frac{248 \text{ MPa}}{142.02 \text{ MPa}}$$

$$n = 1.8$$

Para selección de perfiles horizontales

El peso total es dividido para las dos vigas presentes en la estructura.

$$W_{\text{perfil}} = W_T / 2$$

$$W_{\text{perfil}} = 36.75 \text{ Kg}$$

Calculo de carga distribuida

$$W_{\text{viga}} = W_{\text{perfil}} / L_{\text{perfil}}$$

$$W_{\text{viga}} = \frac{36.75 \text{ Kg}}{0.460 \text{ m}}$$

$$W_{\text{viga}} = 79.89 \text{ Kg/m}$$

$$W_{\text{viga}} = 783.73 \text{ N/m}$$

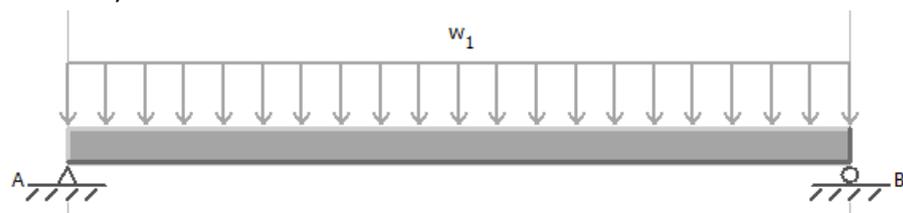


Figura.6.17 Diagrama de cuerpo libre para viga

Fuente la Autora

Calculo de Reacciones y Diagramas de fuerza cortante y Momento Flector

$$R_A = R_B = \frac{W_{viga} L}{2}$$

$$R_A = R_B = 180.26 N$$

$$M = \frac{W_{viga} X}{2} (L - X)$$

$$M = 20.73 N * m$$

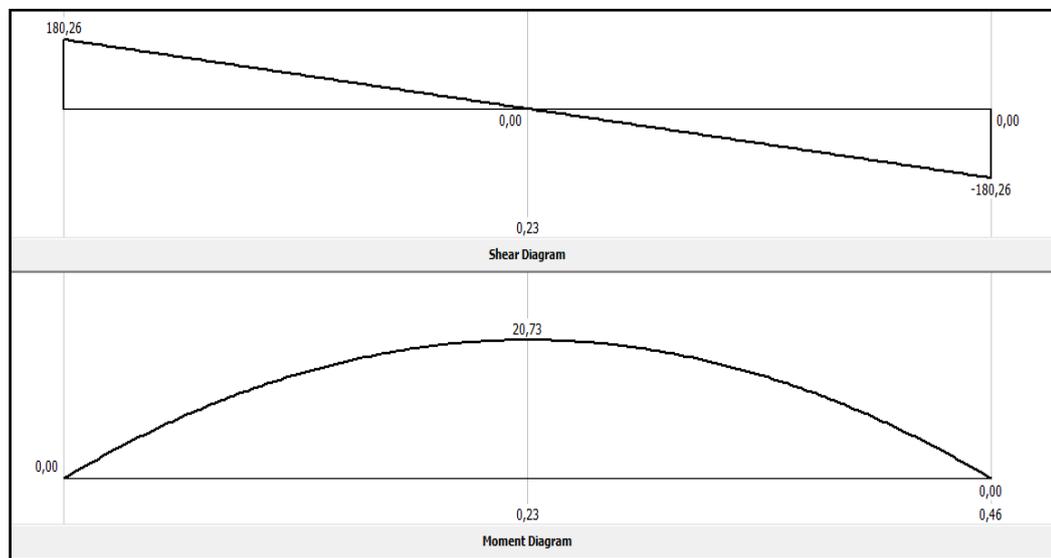


Figura.6.18 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector para las vigas

Fuente la Autora

Cálculo del esfuerzo permisible

$$F_b = 0.6 F_y$$

$$F_b = 0.6 (248 MPa)$$

$$F_b = 148.80 MPa$$

Cálculo del módulo de sección

$$\sigma_{req} = \frac{M_{máx}}{F_b}$$

$$\sigma_{req} = \frac{20.73 \text{ N} * \text{ m}}{148.80 * 10^6 \text{ N} / \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{req} = 1.39 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{req} = 0.14 \text{ cm}^3$$

Mediante el módulo de la sección calculado anteriormente seleccionaremos el tubo estructural adecuado del Anexo J. Perfil estructural rectangular de $60 \times 40 \times 4 \text{ mm}$ ($A = 8.36 \text{ plg}^2, I_y = 18.4 \text{ plg}^4$)

Comprobación:

Mediante el esfuerzo máximo que se produce:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x} * c}{I}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{20.73 \text{ N m} * 0.03 \text{ m}}{6.4 * 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.972 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{F_b}$$

$$n = \frac{248 \text{ MPa}}{148.80 \text{ MPa}}$$

$$n = 1.7$$

Luego de los resultados obtenidos seleccionaremos un tubo estructural rectangular de $60 \times 40 \times 4 \text{ mm}$ para las vigas y columnas de la estructura debido a que soportan las cargas que sean determinado de los elementos que están sobre la misma.

6.6.3.8 Diseño de Juntas de soldadura

Calculo de Esfuerzos y tamaño de soldadura

Se asume que la máquina solo soporta cargas estáticas, de ahí que se asume como estructura estable.

Soporta el peso de los componentes de la parte móvil de esta y del mecanismo de aplicación de la carga, para lo cual se cuenta con los soportes de mordazas.

Los cuales soportaran dichas cargas directamente, por lo que resultan ser las partes más críticas de la estructura.

Soldadura en la Sujeción de Mordazas

Se encuentran sometidas a carga de tensión máxima para romper la probeta

Para obtener el valor de h, se asume un esfuerzo permisible en el cordón de soldadura, para un electrodo E-6011 de $S_Y = 330 \text{ MPa}$ ⁵, de $0.40S_Y$ ⁶.

Valor de H (Altura de filete en mm)

$$\tau_{permisible} = 0.40(330 \text{ MPa})$$

$$\tau = \frac{1.414 F_{Pa}}{h * L}$$

τ es el esfuerzo cortante permisible(MPa).

F_{Pa} es la fuerza ejercida(N).

h altura de filete(mm)

L longitud del cordon (mm)

⁵ Tomado del código AWS D1.1:200, Anexo O.

⁶ SHIGLEY,J; Mischke Ch., Diseño en Ingeniería Mecánica 8va Edición p. 450

$$h = \frac{1.414 F_{Pa}}{\tau * L}$$

$$h = \frac{1.414 (2282.06 N)}{132 MPa * (60 mm)}$$

$$h = 0.40 mm$$

Soldadura en la Estructura

$$\tau_{permisible} = 0.40(330 MPa)$$

$$\tau = \frac{1.414 F_{Pa}}{h * L}$$

$$h = \frac{1.414 (2282.06 N)}{132 MPa * (460 mm)}$$

$$h = 0.05 mm$$

Como se puede apreciar, ésta es una altura pequeña en relación con los espesores de los elementos que se van a unir, por lo que se diseña una altura del filete más acorde con los espesores de los elementos a unir; tendremos un factor de seguridad mayor y por ende mayor resistencia de la junta soldada.

Se supone para espesores de t , tal que $\frac{1}{4} < t \leq \frac{1}{2}$ un tamaño mínimo de filete⁷ igual a 5mm

6.7 Metodología, Modelo Operativo

Al finalizar con el diseño de la máquina se procede a la construcción de la misma, para esta etapa se debe tomar en cuenta que la disposición y forma de cada uno de los elementos de la máquina sean lo más cuidadosamente realizados, de tal manera que cumplan con la función

⁷ Tomado de la tabla 5.8, tamaño mínimo de soldadura de filete, del código AWS D1.1:200.

para la cual fueron diseñados. A continuación se detallan el proceso de construcción utilizado para cada uno de los elementos.

6.7.1 Disco

Este elemento es construido con acero de transmisión AISI 1020, en primer lugar se construye el cubo que va montado sobre el eje del motor, mediante taladrado, cilindrado y refrentado para posteriormente fresar el chavetero y el orificio roscado para el prisionero, las dimensiones del mismo son como las diseñadas es decir de diámetro interno de 20 mm, diámetro externo de 34 mm, longitud de 40 mm, chavetero de 6x3mm y roscado M6 para el prisionero.



Figura.6.19 Cubo del disco
Fuente la Autora

Posteriormente se construye el disco mediante corte de un plancha de 6 mm de espesor como se muestra en la siguiente figura.

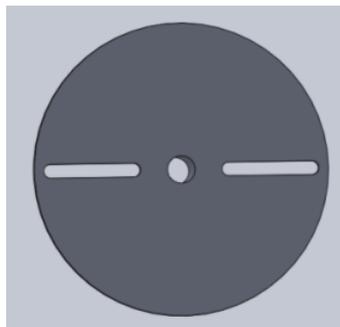


Figura.6.20 Disco con ranuras
Fuente la Autora

Luego estos dos elementos son soldados con electrodos E6011 alrededor del cubo, debido a que el mismo es adecuado para soldar en todas las posiciones con corriente alterna y directa; tiene bajo régimen de deposición y forma un arco de profunda penetración; puede usarse para soldar todo tipo de juntas.

Para posteriormente ser mecanizada es decir cilindrado y refrentado del disco mediante un torno, y por último son frezadas las 2 ranuras con un ancho de 8 mm y largo 48 mm de centro a centro del ojal y a 4.5 mm desde la periferia del disco para finalmente obtener la pieza completa como se muestra en la figura siguiente

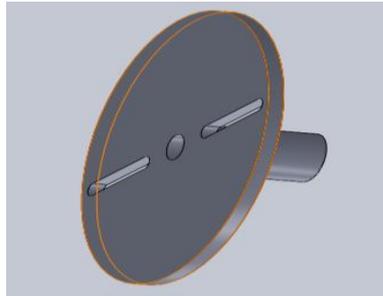


Figura.6.21 Disco Completo

Fuente la Autora

6.7.2 Balancín

Este elemento es construido con una barra rectangular de acero AISI 1020 de $8 \times 14\text{ mm}$ de 105 mm de largo de centro a centro de los agujeros roscados $M8\text{ mm}$ practicados para la sujeción contra el disco.

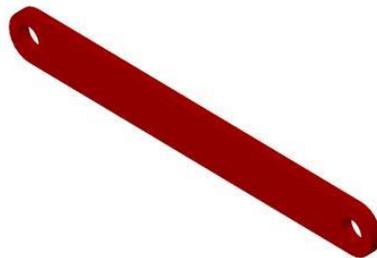


Figura.6.22 Balancín

Fuente la Autora

Luego se suelda a la barra un eje sobre el cual va montado el rodamiento. Este eje es soldado a la barra por la parte posterior con electrodo E 6011, debido a que el mismo es adecuado para soldar en todas las posiciones con corriente alterna y directa; tiene bajo régimen de deposición y forma

un arco de profunda penetración; puede usarse para soldar todo tipo de juntas.

Para que finalmente la pieza quede como se muestra a continuación.

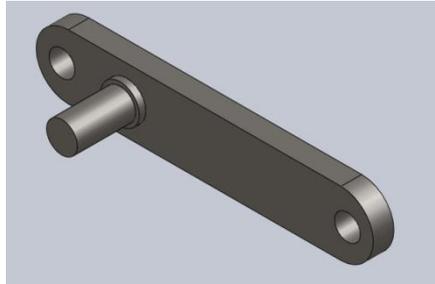


Figura.6.23 Balancín Completo

Fuente la Autora

6.7.3 Biela

Este elemento es construido en dos partes el alojamiento del rodamiento, al cual se suelda una platina de $10 \times 20 \text{ mm}$ y largo de 330 mm .

El alojamiento del rodamiento es construido con acero AISI 1020 mediante torneado y con dimensiones tales que se pueda colocar un rodamiento de diámetro externo de 26 mm y ancho de 8 mm , el diámetro externo es de 35 mm , en la parte interna del alojamiento se practica una ranura de 1 mm de espesor y una profundidad de 1 mm , y a 2 mm desde la cara frontal del mismo con objeto de colocar un seguro o vincha para asegurar que no se salga el rodamiento.

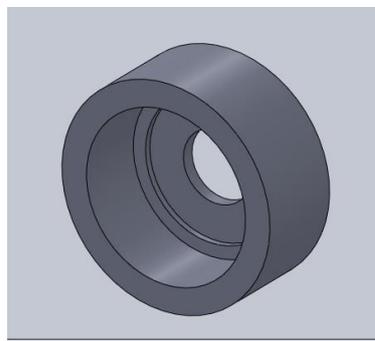


Figura.6.24 Alojamiento del Rodamiento

Fuente la Autora

En el extremo contrario de la platina de 8 mm de espesor, se realiza un orificio de 6 mm como se muestra en la figura siguiente.

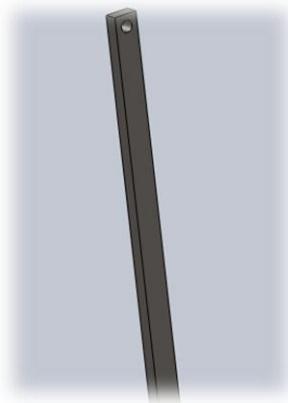


Figura.6.25 Platina

Fuente la Autora

Luego se sueldan con un electrodo E6011, debido a que el mismo es adecuado para soldar en todas las posiciones con corriente alterna y directa; tiene bajo régimen de deposición y forma un arco de profunda penetración; puede usarse para soldar todo tipo de juntas

Finalmente las partes para quedar como se muestra en la figura siguiente.

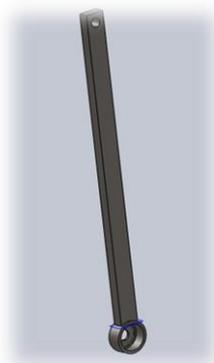


Figura.6.26 Biela completa

Fuente la Autora

6.7.4 Soporte de Mordazas

Se construye de tubos rectangulares de $40 \times 60 \times 4 \text{ mm}$, toman un forma de un cuadrado y en sus extremos placas soldadas a la base con electrodo 7018, debido a que este es adecuado para soldar aceros al carbono de bajo y mediante; se suelda en todas las posiciones y tipos de juntas; tiene la mejor calidad y propiedades mecánicas de todos los electrodos de acero dulce, estas permiten sujetar el soporte a una base.

En uno de sus extremos se deja una canaleta para que la mordaza superior pueda regularse a media que se incremente el desplazamiento.

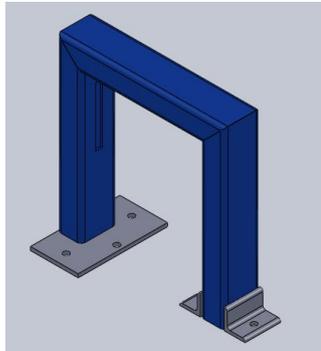


Figura.6.27 Soporte de Mordazas

Fuente la Autora

6.7.5 Carril de Mordaza Inferior

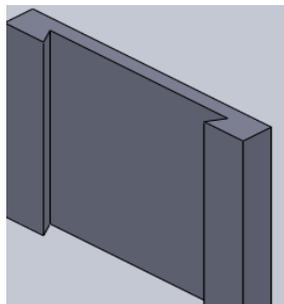


Figura.6.28 Soporte Carril de Mordaza Inferior

Fuente la Autora

Construida de una placa de $90 \times 60 \times 8 \text{ mm}$ con extremos inclinados los cuales evitan que la mordaza inferior se desplace y pueda tener un

movimiento lineal. También otra placa que servirá de unión para la mordaza inferior y a su vez el desplazamiento que generara la fractura de la probeta.

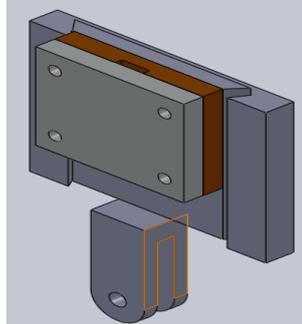


Figura.6.29 Soporte Carril de Mordaza Completo
Fuente la Autora

6.7.6 Soporte de Mordaza Superior

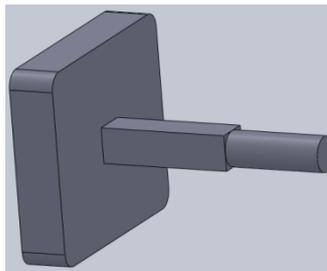


Figura.6.30 Soporte de Brazo
Fuente la Autora

Construida de una placa de $70 \times 60 \times 8 \text{ mm}$, la cual en la parte trasera posee una guía la cual permitirá el desplazamiento requerido de la misma.

6.7.7 Unión entre carril y biela

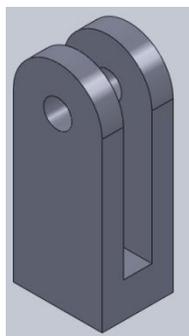


Figura.6.31 Unión entre carril y biela
Fuente la Autora

Está construido de platinas de $40 \times 20 \times 4 \text{ mm}$, las cuales están unidas por una pequeña placa que se suelda a los extremos de las platinas. En los extremos libres se realiza agujeros de un diámetro igual al del extremo de la biela.

6.7.8 Mordazas

- ✓ Mordaza Superior.- En la parte superior mediante el soporte se coloca la mordaza que está hecha en placas de acero en la cual se ha maquinado una matriz con la forma de los extremos de la probeta normalizada, mediante pernos de $\frac{1}{4} \times 4 \text{ in}$ se procede a empernar los extremos de la mordaza en el soporte.

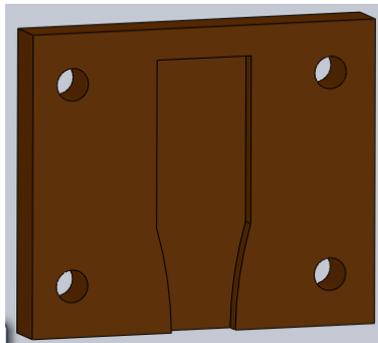


Figura.6.32 Mordaza Superior

Fuente la Autora

- ✓ Mordaza Inferior.- en el extremo inferior la mordaza tiene que ser sujeta a una placa la cual le permitirá fijarse al carril y generar el desplazamiento.

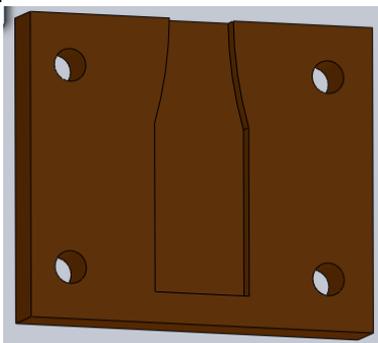


Figura.6.33 Mordaza Inferior

Fuente la Autora

6.7.9 Base del motor

Para la base del motor es una placa de $125 \times 150 \text{ mm}$ y un espesor de 6 mm la misma que se suelda en la parte inferior de la bancada y esto permitirá a su vez que el mecanismo implementado al eje del motor actúe con completa libertad.

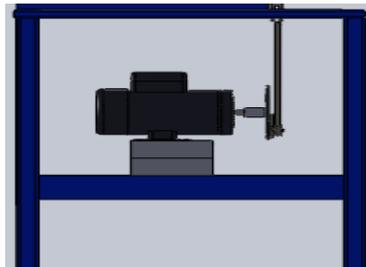


Figura.6. 34 Base del motor

Fuente la Autora

6.7.10 Bancada

La forma y dimensiones de la bancada obedecen a condiciones de funcionalidad, y están contruidos con un canal en posición horizontal de $300 \times 70 \text{ mm}$ con espesores de 8 mm para el alma y 18 mm para los patines y una longitud de 460 mm , finalmente la forma queda como se muestra en la siguiente figura.



Figura.6.35 Bancada

Fuente la Autora

Luego de ensamblado todos los elementos la máquina queda como se muestra a continuación.



Figura.6.36 Máquina de ensayo a fatiga por tracción
Fuente la Autora

6.7.11 Máquina y equipo utilizado

La maquinaria utilizada para la construcción es:

- ✓ Torno
- ✓ Fresadora
- ✓ Taladrado de columna
- ✓ Soldadora autógena.
- ✓ Soldadora de arco eléctrico.
- ✓ Compresor

Dentro de las herramientas se utilizó:

- ✓ Taladro
- ✓ Amoladora
- ✓ Esmeril
- ✓ Sierra
- ✓ Limas
- ✓ Machuelos
- ✓ Entenalla
- ✓ Equipo de pintura.

Los instrumentos de medición y trazado utilizados fueron:

- ✓ Flexómetro.
- ✓ Calibrador

✓ Escuadras

6.8 Administración

En la parte administrativa se tiene que realizar un análisis de costo, tanto para construir la máquina como para la realización de las pruebas.

6.8.1 Costos Directos

Los costos directos comprenden los rubros detallados en la siguiente tabla.

Tabla 6.2 Costos Directos

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL (DÓLARES)
1	-	1	Motor trifásico de 1 Hp	100	100
2	-	1	Relé	20	20
3	-	1	Contador, circuito electrónico	150	150
4	-	1	Canal de 30 x 46	25	25
5	-	4	Tubo cuadrado de 40X60	20	20
6	1	4	Tubo Rectangular 20x 40	15	15
7	1	1	Canal de 30x65	30	30
8	-	1	Disco	20	20
9	-	1	Biela	35	35
10	Litro	1	Pintura	8	8
12	Galón	1	Tiñer	6	6
13	-	6	Lija	0.4	2.4
14	-	1	Pernos y tuercas	Varios	10
15	m	10	Cable calibre 18	0.46	4.6
16	Libras	2	Electrodos E 6011	2.6	5.2
TOTAL					466

Fuente la Autora

Los costos por mano de obra se detallan a continuación.

Tabla 6.3 Costos mano de obra

CARGO	H TRABAJADAS	COSTO/HORA	TOTAL
Maestro	80	2.8	224
Ayudante	60	1.35	81
TOTAL			305

Fuente la Autora

Tabla 6.4 Costos totales de la máquina

DETALLE	COSTO
Máquina	466
Mano de obra	305
Material	87.50
SUBTOTAL	868
Imprevistos	10%
TOTAL	944.35

Fuente la Autora

Los costos relacionados con el material utilizado para los ensayos son:

Tabla 6.5 Costos de probetas del ensayo a fatiga mecánica por tracción

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Kg	10	Resina Poliéster	2.00	20.00
2	Kg	1	Fibra de Cabuya	1	1
3	unidades	6	Moldes para probetas	15	60
4	gramos	50	Estireno	2.5	2.5
5	gramos	25	Peróxido	1.50	1,50
6	gramos	25	Cobalto	2.5	2.5
TOTAL					87.50

Fuente la Autora

Por lo que costos totales fueron los siguientes.

Tabla 6.6 Costo de un Ensayo a fatiga por tracción

DETALLE MÁQUINA	COSTO
Máquina	466
Mano de obra	305
Material	87.50
SUBTOTAL	868
Imprevistos	10%
TOTAL MAQUINA	944.35
DETALLE DE PROBETAS	
Fibra de cabuya	1.00
Resina poliéster	2.20
Peróxido	3.50
Estireno cobalto	2.00
Cobalto	3.50
TOTAL PROBETAS	12.20

Fuente la Autora

6.9 Previsión de la Evaluación

La presente propuesta debe estar sujeta a un plan de evaluación, con el fin de mejorar los resultados que se obtengan. La máquina construida formará parte de los equipos del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de tal manera que su funcionamiento debe ser muy confiable, uno de los parámetros que se debe controlar es la frecuencia de funcionamiento del motor, de tal manera que siempre gire a 1800 rpm, parámetro que establece la norma ASTM D 671, otro aspecto a tomar en cuenta es las dimensiones de la probeta la cual trabaja bajo la norma ASTM D 638 para polímeros rígidos y la facilidad de calibrar el desbalance que debe tener el motor para que genere la flecha adecuada en la probeta, de tal manera que la relación de esfuerzos sea siempre

sea siempre igual a 1 y el esfuerzo aplicado sea el calculado para el ensayo.

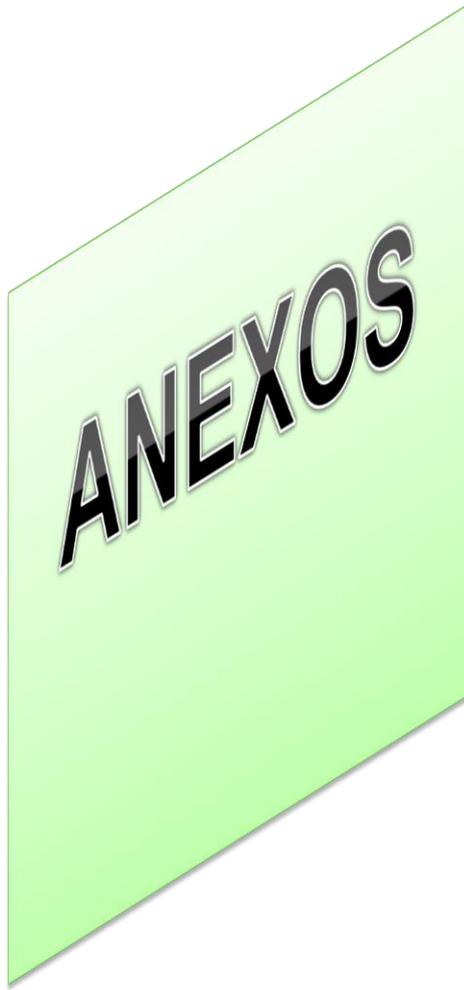
Se espera que en el futuro se siga utilizando este equipo para el proceso enseñanza aprendizaje en la facultad, posteriormente se realicen estudios con otro tipo de polímeros combinados con varios tamaños de fibras naturales, para obtener información sobre el comportamiento a fatiga por tracción del mismo, con el propósito de mejorar tanto en el procedimiento como conclusiones que beneficien tanto en el aspecto académico como en desarrollo industrial del sector Carrocero.

Se recomienda además que mediante trabajos de investigación futuros se automatice su funcionamiento con el objetivo de obtener resultados mucho más rápidos y precisos mediante la implementación de un programa de computación adecuado, además de la utilización de sensores electrónicos y otros parámetros que puedan influir en el resultado final.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amigó, V., Salvador, D., Sahuquillo, O.(2001) Quinto Congreso Internacional de Fibras Naturales, Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia
2. Andrzej, K, Bledzki, Volker, E. (2005) Comportamientos recientes y Aplicaciones de Polímeros Rellenos de Fibra natural. Alemania: Universidad Kassel.
3. Arboleda, O. (2007). Aplicación del plástico reforzado con fibra de vidrio a partes de Ingeniería. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
4. Askeland, D. R (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales (Tercera ed.).México: International Thomson.
5. Callister, W. D (1995).Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales (Vol. 4). Barcelona, España: Reverte.
6. Casado del Prado, J. A. (2010). Tesis Doctoral Comportamiento en Fatiga de Poliamidas Reforzadas con Fibra de Vidrio Corta.
7. Gondar, G., Geffrey, J. (2007). Diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga de muestras planas por flexión alternativa. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
8. Guerrero V.H, D.J. (2011). Nuevos Materiales, Aplicaciones Estructurales e Industriales. Quito ,Ecuador: Imprefepp
9. Mayugo, J.A., Trias, D., Blanco, N., Oller,S.(2002). Predicción de la vida a fatiga mediante un modelo de degradación integrado de la mecánica de medios continuos. Madrid: Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería.

10. Miravete, A., Larrodé, E., & Castejón, L. (2004). Materiales Compuestos (Primera Edición, en castellano).
11. Paredes, J. (2012). Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
12. Plaza Cordero, H. (1995) Introducción a las propiedades de Polímeros. Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
13. Quesada, k., Alvarado, P.(2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña como material de refuerzo en resinas poliéster. Costa Rica, España: Revista Iberoamericana de polímeros.
14. Shackelford. (2003)Introducción a la ciencia de los materiales para Ingenieros.
15. Singer, F. (1997.). Resistencia de Materiales. Buenos Aires: Harla S.A.
16. Tamayo, N. (2012).Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
17. Toasa C, P. D. (2009). Curvas de Wohler y análisis estadístico de pruebas de fatiga. (Amarum, Ed.)



1. ANEXO A

Tabla 1.1 Propiedades Típicas de algunos polímeros

Material	Tipo (k)	Resistencia Máxima		Resistencia Máxima a compresión		Resistencia en flexión.		Alargami ento (%) (r)	Módulo de Elasticidad E		Peso Específico (h)
		S_u		S_{uc}		S_f (g)			$Kg/cm^2 \times 10^3$	$Psi \times 10^3$	
		Kg/cm^2	ksi	Kg/cm^2	ksi	Kg/cm^2	ksi				
Fenol-formaldehído											
Calidad X (b) (1)	TS	948	14	2460	35	1617	23	XXX	0.281-1.406	4-20	1.35
Calidad XX (b) (1)	TS	597(d)	8.5(d)	1406	20	1054(e)	15(e)	XXX	0.281-1.406	4-20	1.35
Calidad C (b) (1)	TS	527(d)	7.5(d)	1406	20	1195(e)	17(e)	XXX	0.246-1.054	3.5-1.5	1.35
Calidad C (b) (1)	TS	421(d)	6(d)	1054	15	703(e)	10(e)	XXX	0.246-1.054	3.5-1.5	1.65
Rellenador harina de madera (p)	TS	421(f)	6(f)	1687	24	632(f)	9(f)	0.48-0.8	0.703	10	1.4
Urea-formaldehído	TS	632	9	1757	25	703	10	0.6	1.054	15	1.45
Policloruro de vinilo	TP	562	8	703	10	XXX	XXX	30	0.210	3	1.2
Policloruro d vinilo n	TP	562	8	914	13	XXX	XXX	10	0.562	8	1.41
Polimetacrilato de metilo	TP	562	8	984	14	632	9	8	0.281	4	1.16
Polestireno (f)	TP	351	5	808	11.5	421	6	1.2	0.035	0.5	1.06
Polamida (m)	TP	829(s)	11.8(s)	344(q)	4.9(q)	970	13.2	60(s)	0.246	3.5	1.14
Acetato de celulosa	TP	316	4.5	1406	20	XXX	XXX	20	0.140	2	1.27
Poletileno (f)	TP	119	1.7	28(m)	0.4(m)	119	1.7	30-500	0.010	0.15	0.92
Politetrafluoretileno (m)	TP	267(u)	3.8(u)	126(t)	1.8(t)	140	2	100-200	0.042	0.6	2.2
Cloruro de polivinilideno	TP	351	5	168	2.4	XXX	XXX	200	0.049	0.7	1.7
Policlorotrifluoretileno	TP	421	6	351	5	XXX	XXX	200	0.175	2.5	2.1
Polipropileno	TP	428.3	6.1	387.5	5.5			100-600	0.163	2.3	0.95

3. ANEXO C

Características de Materiales poliméricos

Nombre	Fomula	Propiedades	Aplicaciones
Poliétileno (PE)	- CH ₂ - CH ₂ -	Termoplástico, traslúcido en lámina, flexible, permeable a los hidrocarburos, alcoholes y gases, resistente a los rayos X y los agentes químicos.	Láminas, bolsas, tuberías, revestimientos aislantes, tapones, tapas, envases, juguetes
Polipropileno (PP)	CH ₃ - CH ₂ - CH -	Termoplástico, baja densidad, rigidez elevada, resistente a los rayos X, muy poco permeable al agua, resistente a las temperaturas elevadas (<135 °C) y a los golpes.	Artículos domésticos, envases, carrocerías moldeadas, baterías, parachoques, muebles de jardín, jeringuillas, frascos, prótesis, rafia.
Poliestireno (PS)	C ₆ H ₅ - CH ₂ - CH -	Termoplástico, transparente en lámina, no tóxico por ingestión, buenas propiedades ópticas y eléctricas, fácil de teñir, resistente a los rayos X, a los aceites y a las grasas.	Envases, utensilios de cocina, difusores ópticos, revestimientos de muebles, aislamiento térmico, juguetes, artículos de oficina, maquinillas de afeitarse desechables.
Policloruro de vinilo (PVC)	Cl - CH ₂ - CH -	Termoplástico, flexible o rígido, opaco o transparente, resistente a los rayos X, los ácidos, las bases, los aceites, las grasas y los alcoholes.	Artículos domésticos, envases, aislamiento de cables eléctricos, conducciones de agua, revestimientos de suelos, contraventanas y puertas plegables, maletas, marroquinería, piel sintética, artículos de deporte y camping, industria química y automoción.
Politetrafluoroetileno (PTFE) o teflón	- CF ₂ - CF ₂ -	Químicamente inerte, antiadherente, impermeable al agua y a las grasas, excelente resistencia al calor y a la corrosión.	Prótesis, juntas, piezas mecánicas en medios corrosivos, aislamiento eléctrico, revestimiento de sartenes.
Polimetacrilato de metilo (PMMA) o plexiglás	CH ₃ - CH ₂ - C - OCOCH ₃	Termoplástico, transparente, excelentes propiedades ópticas, buena resistencia al envejecimiento y a la intemperie.	Material sustitutivo del vidrio, letreros luminosos, cristalerías, ventanillas, vitrinas, fibras ópticas, odontología, prótesis, lentes de contacto.
Poliámidas (PA) (ejemplo: nailon)	Ejemplo : - NH - (CH ₂) _n - CO - siendo n un número entero natural	Termoplásticos, excelentes propiedades mecánicas, resistentes a los rayos X y a los carburantes, impermeables a los aceites y a los gases.	Envases para productos alimenticios, mecanismos de contadores de agua, gas y electricidad, canalización de carburantes, botas y fijaciones de esquí, sillines de bicicleta.
Siliconas	R - O - Si - R Ejemplos : R = CH ₃ o C ₆ H ₅	Fluidas, lubricantes, antiadherentes, débilmente tóxicas.	Fluidos para transformadores eléctricos, masillas, moldeados complejos, revestimientos antiadherentes, barnices, ceras, tratamiento de quemaduras, cirugía estética.
Poliésteres	- R - C - O - R' - O - C - R - O O siendo R y R' dos grupos de átomos	Termoendurecibles, transparentes, buenas propiedades mecánicas a temperaturas elevadas, propiedades eléctricas, resistentes a los golpes, fáciles de mecanizar.	Productos textiles, envases, botellas, interruptores, tomas y fusibles para circuitos de alta tensión, prótesis.

4. ANEXO D

Tabla 1.3. Propiedades mecánicas y físicas de varios tipos de resinas poliéster. [Hollaway, 1994]

Tipo de poliéster	Ortoftálico de reactividad				
	Alta	Mediana		Baja	
		Completado el curado	16 horas a 40°C o 28 días a temperatura ambiente	Completado el curado	16 horas a 40°C o 28 días a temperatura ambiente
Resistencia a la tracción [MPa]	54	68	64	60	60
Módulo de elasticidad [GPa]	3,6	3,6	3	3,8	3,2
Deformación [%]	2	2,4	4,5	2	3
Resistencia a la compresión [MPa]	130	134	-	137	-
Módulo a la compresión [GPa]	3,7	3,7	-	4,4	-
Resistencia a la flexión [MPa]	136	113	-	127	-
Módulo a la flexión [GPa]	3,9	3,7	-	4,2	-
Máxima temperatura de uso [°C]	110	75	57	65	55
Dureza Barcol	48	46	42	45	43
Gravedad específica	1,21	1,23	-	1,22	-
Adsorción de agua durante 24 horas [mg]	30	20	16	16	15

5. ANEXO E

Tabla A1. Materiales usados como refuerzo y propiedades que proporcionan al plástico
[Cheremisinoff, 1995].

Refuerzo	Resist. química	Resist. Térmica	Aislamiento eléctrico	Resist. impacto	Resist. tracción	Estabilidad dimensional	Rigidez	Dureza	Resist. humedad
Asbesto	x	x	x	x		x	x	x	
Carbonato de calcio		x				x	x	x	
Fibra de carbón									
Celulosa				x	x	x	x	x	
Carbón (en polvo)	x								x
Algodón (fibras recortadas)			x	x	x	x	x	x	
Fibra de vidrio	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Yute				x			x		
Caolín	x	x				x	x	x	x
Mica	x	x	x			x	x	x	x
Nylon (fibras recortadas)	x	x	x	x	x	x	x	x	
Talco	x	x	x			x	x	x	x
Aserrín			x		x	x			

6. ANEXO F

TABLA 3-Distribución Chi Cuadrado χ^2

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, ν = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361

7. ANEXO G

Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería

Material	Peso específico Lb/in ²	Resistencia ultima			fluencia		Modulo de elasticidad 10 ⁵ psi	Modulo de rigidez 10 ⁵ psi	Coeficient e de expansión 10 ⁻⁶ °F	Ductilidad porcentaj e de elongación en 2 in.
		Tensión	Compresión	Cortante	Tensión	Cortante				
		ksi	ksi	ksi	ksi	ksi				
Acero										
Estructural (ASTM-A36)	0.284	58			36	21	29	11.2	6.5	21
Alta resistencia-baja aleación										
ASTM-A709 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A913 Grado 65	0.284	80			65		29	11.2	6.5	17
ASTM-A992 Grado 50 Templado	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A709 Grado 100	0.284	110			100		29	11.2	6.5	18
Inoxidable AISI 302										
Laminado en frio	0.286	125			75		28	10.8	9.6	12
Recocido	0.286	95			38	22	28	10.8	9.6	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	0.283	70			40		29	11	6.5	
Alta resistencia	0.283	90			60		29	11	6.5	
Fundición:										
Fundición gris 4.5% C, ASTM A-48	0.260	25	95	35			10	4.1	6.7	0.5
Hierro fundido 2% C, 1% Si, ASTM A-47	0.264	50	90	48	33		24	9.3	6.7	10

8. ANEXO H

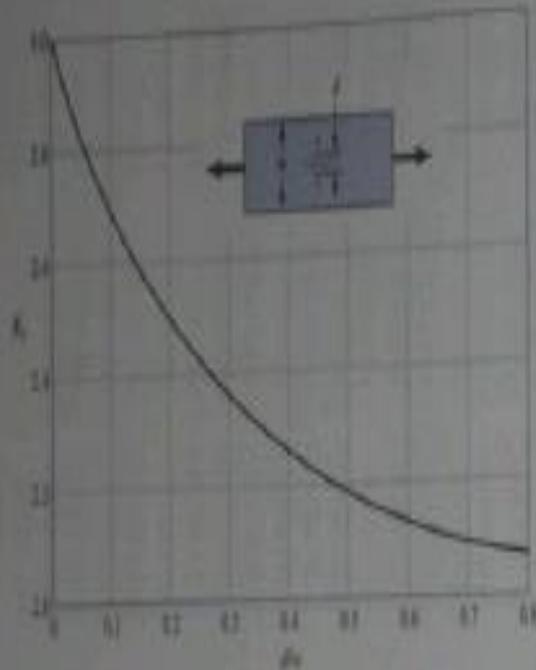
1036 | ANEXO A | Tercer año

Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t

Figura A-15-1

Barra en tensión o compresión simple con un agujero taladrado $r_1 = r_2 = r$, donde $r = (d_2 - d_1)/2$ es el radio.



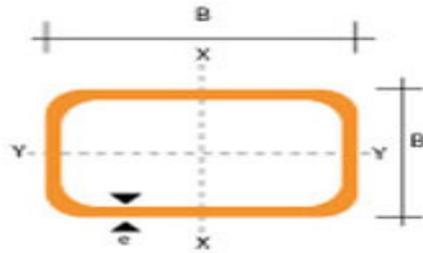
9. ANEXO I

Tabla 18-4 Grados métricos de aceros para fabricar pernos

<i>Grado</i>	<i>Tamaño de perno</i>	<i>Resistencia al esfuerzo de tracción (MPa)</i>	<i>Resistencia a punto cedente (MPa)</i>	<i>Resistencia de prueba o probada (MPa)</i>
4.6	M5-M36	400	240	225
4.8	M1.6-M16	420	340 ^a	310
5.8	M5-M24	520	415 ^a	380
8.8	M17-M36	830	660	600
9.8	M1.6-M16	900	720 ^a	650
10.9	M6-M36	1 040	940	830
12.9	M1.6-M36	1 220	1 100	970

^aResistencias a punto cedente aproximadas y no se incluyen en el estándar.

10. ANEXO J



DIMENSIONES				AREA	EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

11. ANEXO K

TABLE 7—36,000 psi yield steel

$\frac{KL}{r}$ ratio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	21,560	21,520	21,480	21,440	21,390	21,350	21,300	21,250	21,210
10	21,160	21,100	21,050	21,000	20,950	20,890	20,830	20,780	20,660
20	20,600	20,540	20,480	20,410	20,350	20,280	20,220	20,150	20,010
30	19,940	19,870	19,800	19,730	19,650	19,580	19,500	19,420	19,270
40	19,190	19,110	19,030	18,950	18,850	18,780	18,700	18,610	18,440
50	18,350	18,260	18,170	18,080	17,990	17,900	17,810	17,710	17,530
60	17,430	17,330	17,240	17,140	17,040	16,940	16,840	16,740	16,530
70	16,430	16,330	16,220	16,120	16,010	15,900	15,790	15,690	15,470
80	15,360	15,240	15,120	15,020	14,900	14,790	14,670	14,560	14,320
90	14,200	14,090	13,970	13,840	13,720	13,600	13,480	13,350	13,160
100	12,980	12,850	12,720	12,590	12,470	12,330	12,200	12,070	11,810
110	11,670	11,540	11,400	11,260	11,130	10,990	10,850	10,710	10,430
120	10,280	10,140	9,990	9,850	9,700	9,550	9,410	9,260	8,970
130	8,840	8,700	8,570	8,440	8,310	8,190	8,070	7,960	7,730
140	7,320	7,210	7,100	7,000	6,900	6,810	6,710	6,620	6,330
150	6,640	6,550	6,460	6,380	6,300	6,220	6,140	6,060	5,910
160	5,830	5,760	5,690	5,620	5,550	5,490	5,420	5,350	5,230
170	5,170	5,110	5,050	4,990	4,930	4,860	4,820	4,770	4,660
180	4,610	4,560	4,510	4,460	4,410	4,360	4,320	4,270	4,180

12. ANEXO L

Diámetro Del tornillo (in.)	Cabeza del tornillo (mm)	Tuerca (mm)	Contra Tuerca (mm)	Entre Caras (mm)	Entre Aristas (mm)	Tuerca redonda (mm)	Arandelas	
							Ø (mm)	Espes or (mm)
¼	5.842	6.604	6	13.3	15.944	13.3	20	1.5
5/16	7.112	8.128	7	15.2	17.526	15.2	21	1.5
3/8	8.636	9.906	8	18	20.222	18	25	2
7/16	9.906	11.430	10	20.8	24.130	20.8	29	2
½	11.430	12.954	11	23.3	26.92	23.3	32	3
5/8	41.224	16.256	13	27.9	32.26	27.9	35	3.5
¾	17.018	19.304	15	33	38.10	33	44	4
7/8	19.812	22.606	17	37.5	43.43	37.5	50	4
1	22.606	25.65	19	42.4	49.02	42.4	55	4
1-1/8	25.40	29.21	22	47.2	54.61	47.2	58	4
1-1/4	28.19	32.26	24	52	60.20	52	65	5
1-3/8	30.99	35.56	26	56.3	65.02	56.3	70	5
1-1/2	33.78	38.61	29	61.2	70.61	61.2	78	6
1-5/8	36.58	41.91	32	65.5	75.69	65.5	84	6
1-3/4	39.37	44.96	34	70	81.02	70	88	7
1-7/8	42.42	48.26	37	76.5	88.91	76.5	93	7
2	44.96	51.31	39	80	92.45	80	98	8
2-1/4	50.55	57.65	44	90	104.14	90	110	9
2-1/2	56.13	64.01	50	98.8	114.04	98.8	121	9
3-3/4	61.72	70.36	55	106	122.68	106	134	10

13. ANEXO M

Fisuras en Accesorios para Carrocería



14. ANEXO N

Masa de la resina requerida para elaborar Polímeros Compuestos con Aserrín

Vol. Resina (cm ³)	ρ resina (gr/cm ³)	Masa (gr)	M. Total polímero - aserrín
9,03	1,28	11,6	12,47
8,53	1,28	10,9	12,28
8,02	1,28	10,3	12,09
7,52	1,28	9,6	11,91

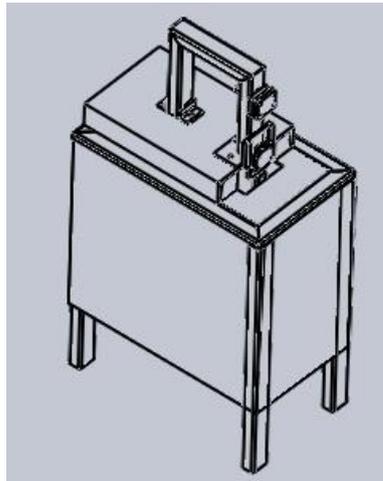
Masa de la resina requerida para elaborar Polímeros Compuestos con Cascarilla de arroz

Vol. Resina (cm ³)	ρ resina (gr/cm ³)	Masa (gr)	M. Total polímero - cascarilla de arroz
9,03	1,28	11,6	12,51
8,53	1,28	10,9	12,34
8,02	1,28	10,3	12,18
7,52	1,28	9,6	12,01

Masa de la resina requerida para elaborar Polímeros Compuestos con Cabuya

Vol. Resina (cm ³)	ρ resina (gr/cm ³)	Masa (gr)	M. Total polímero - fibra de cabuya
9,03	1,28	11,6	12,86
8,53	1,28	10,9	12,87
8,02	1,28	10,3	12,88
7,52	1,28	9,6	12,89

MANUAL DEL USUARIO PARA LA MÁQUINA DE ENSAYO A FATIGA POR TRACCIÓN



Descripción General

La máquina tiene la capacidad de realizar ensayos a fatiga por tracción en polímeros compuestos, polímeros rígidos y la posibilidad de ensayar metales. Posee un mecanismo para controlar la variación de desplazamientos. El esfuerzo depende del desplazamiento que se haga.

Análisis y requerimientos de la máquina

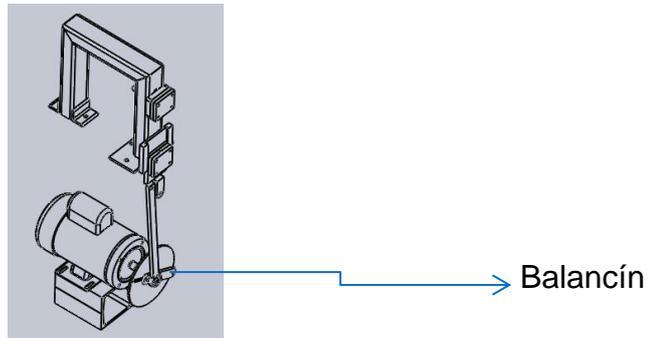
La máquina de ensayos a fatiga por tracción se ocupa para fatigar polímeros compuestos, generando el número de ciclos que es capaz de soportar hasta la falla.

Para su correcta instalación requiere de una superficie plana y una fuente de corriente normal de 110V.

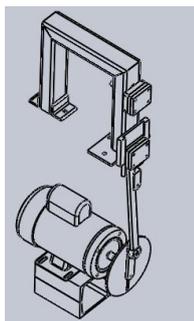
INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO A FATIGA POR TRACCIÓN

Este manual está elaborado para la correcta operación de la Máquina de ensayos a fatiga por tracción se requiere seguir los siguientes pasos:

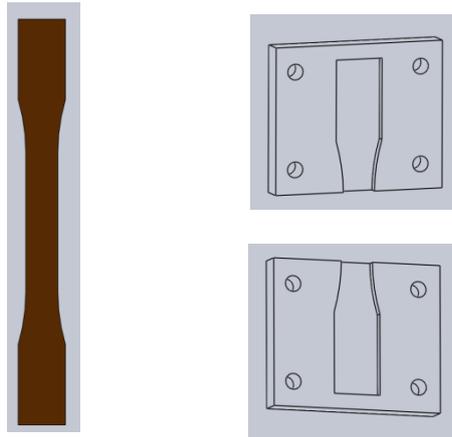
- I. Se inicia con la regulación del desplazamiento del balancín para poder obtener el incremento del desplazamiento que actúa sobre la probeta, el mismo que se inicia desde cero en el extremo del disco y a medida que se va recorriendo el balancín hacia el centro se incrementara el desplazamiento en la mordaza inferior. La distancia para el ensayo a fatiga por tracción inicia en un intervalo de 0 – 8 mm



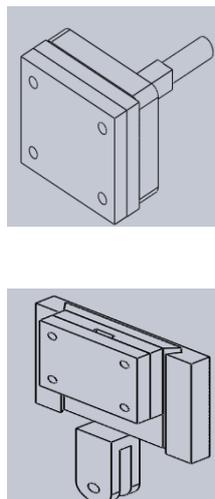
- II. Una vez determinado el desplazamiento del mecanismo se coloca el disco de manera que el extremo del mecanismo coloque al soporte de mordaza en su punto más elevado.



- III. Luego se coloca la probeta en la mordaza inferior y superior cuidando que los extremos de la misma calcen correctamente, si se observa que la longitud es insuficiente se procede a elevar la mordaza superior.



- IV. Se coloca las tapas de las mordazas y se procede a empinar los extremos de cada mordaza.



- V. Finalmente se enciende el circuito con el botón ubicado en la parte izquierda superior del circuito, se espera que aparezca el mensaje siguiente: Presione el botón verde para iniciar la tarea.

Encendido del circuito



Botón de inicio del contador

- VI. Cuando la máquina se enciende al mismo tiempo arranca el contador de ciclos que ira registrando el número de veces que se tracciona la probeta por un giro o ciclo del motor.
- VII. Una vez que la probeta inicia la fractura y finalmente se rompe, se presiona el botón rojo ubicado en la parte superior derecha la misma que detendrá la máquina y se registrara en la pantalla el número de ciclos hasta la falla de la probeta y el tiempo.



Botón de paro del circuito

- VIII. Para iniciar un nuevo ciclo se presiona nuevamente el botón verde.

1

2

3

4

N5

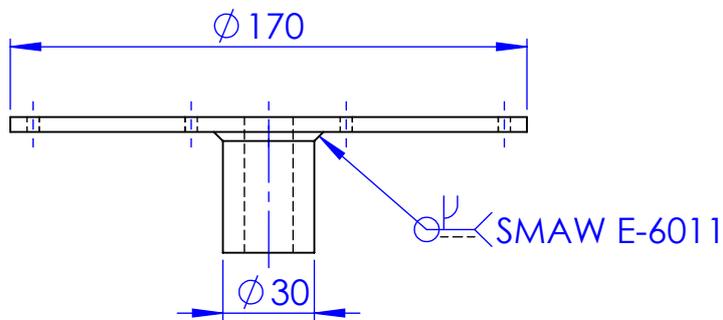
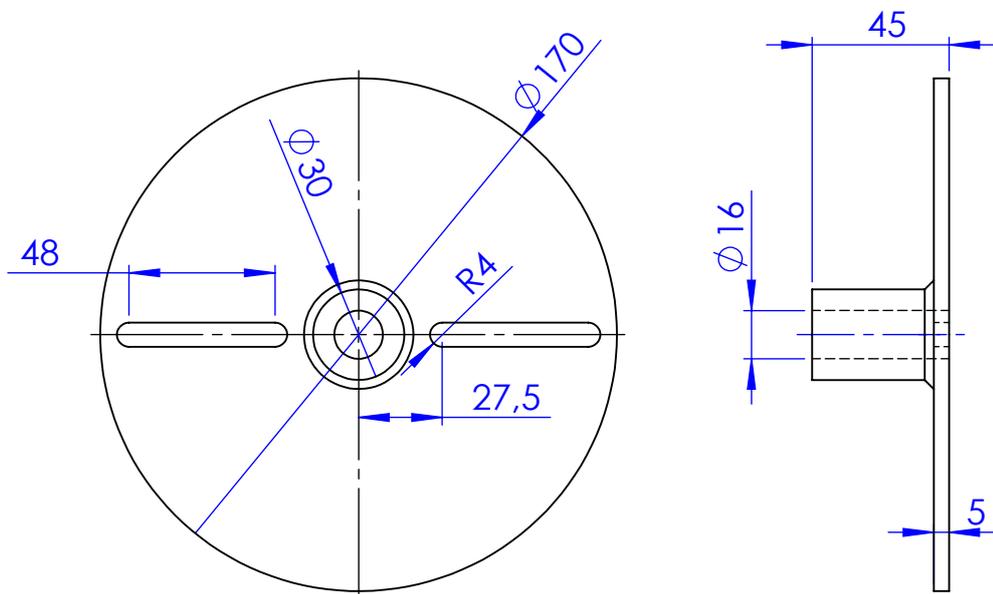
A

B

C

D

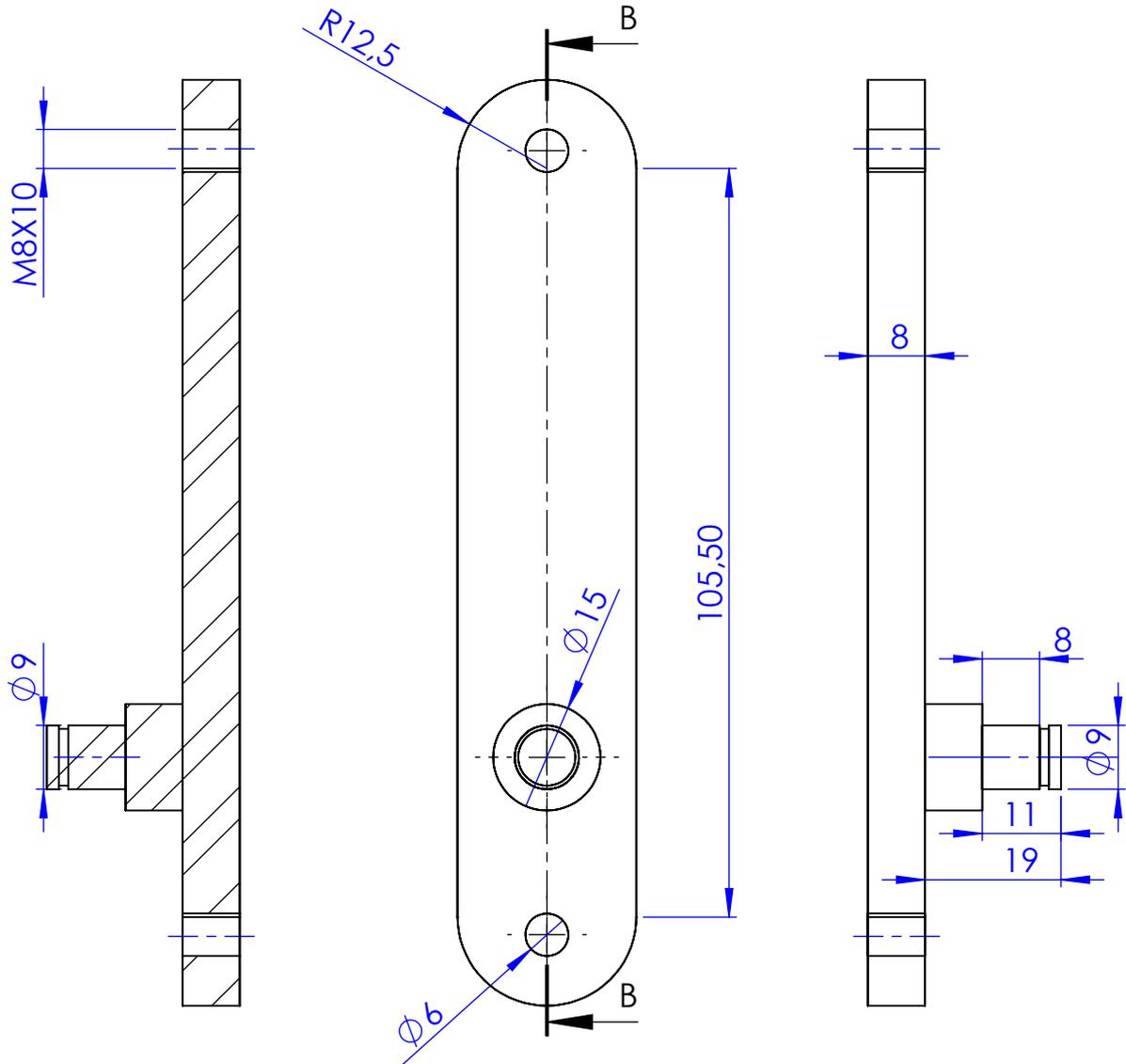
E



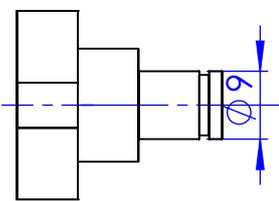
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1020			
				$\pm 0,1$	1.195 Kg				
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	26/03/13	Morocho V.			DISCO	1:2.5
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.				
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.			
				UTA		Número del dibujo:			
				Ing. Mecánica		01 de 12			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			

N9

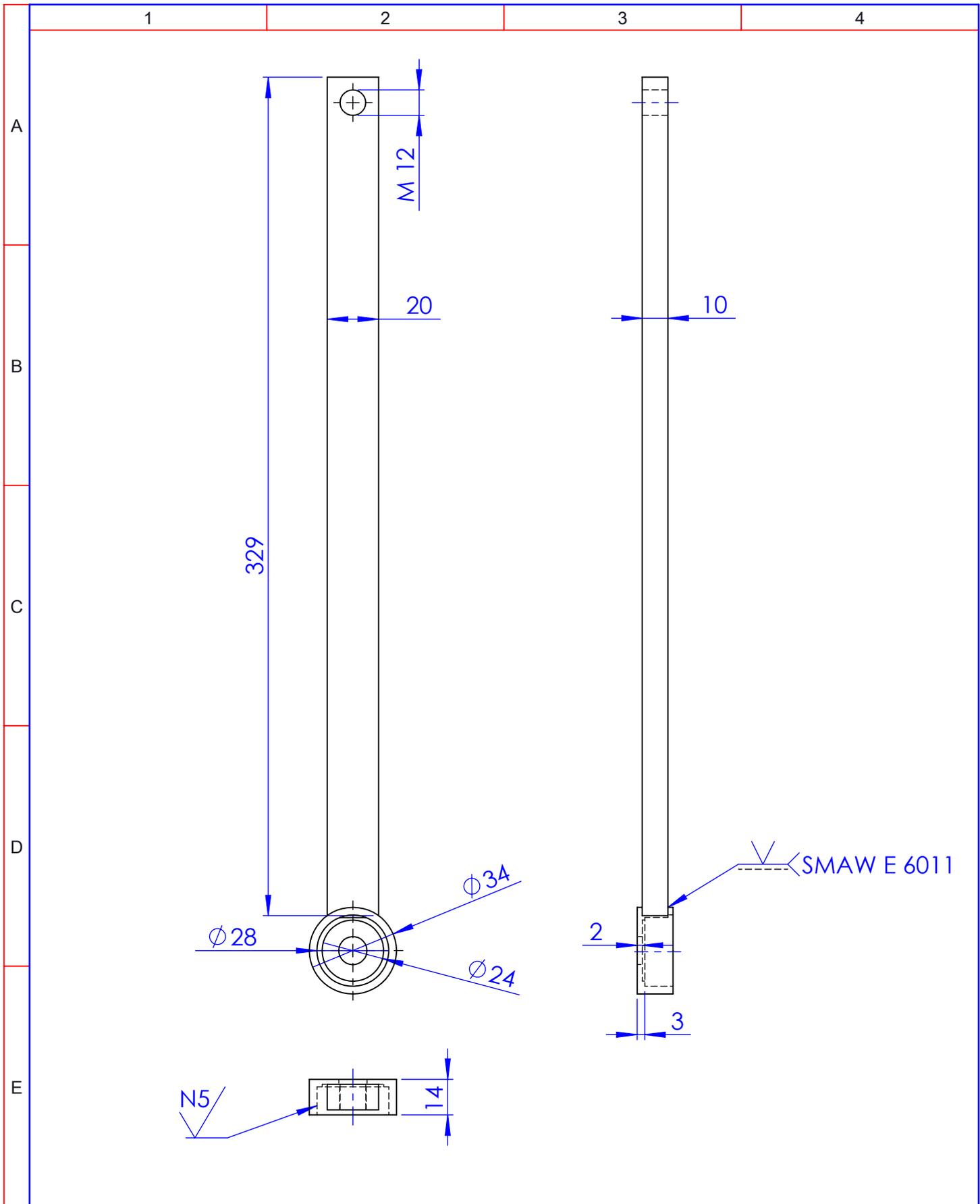
A
B
C
D
E



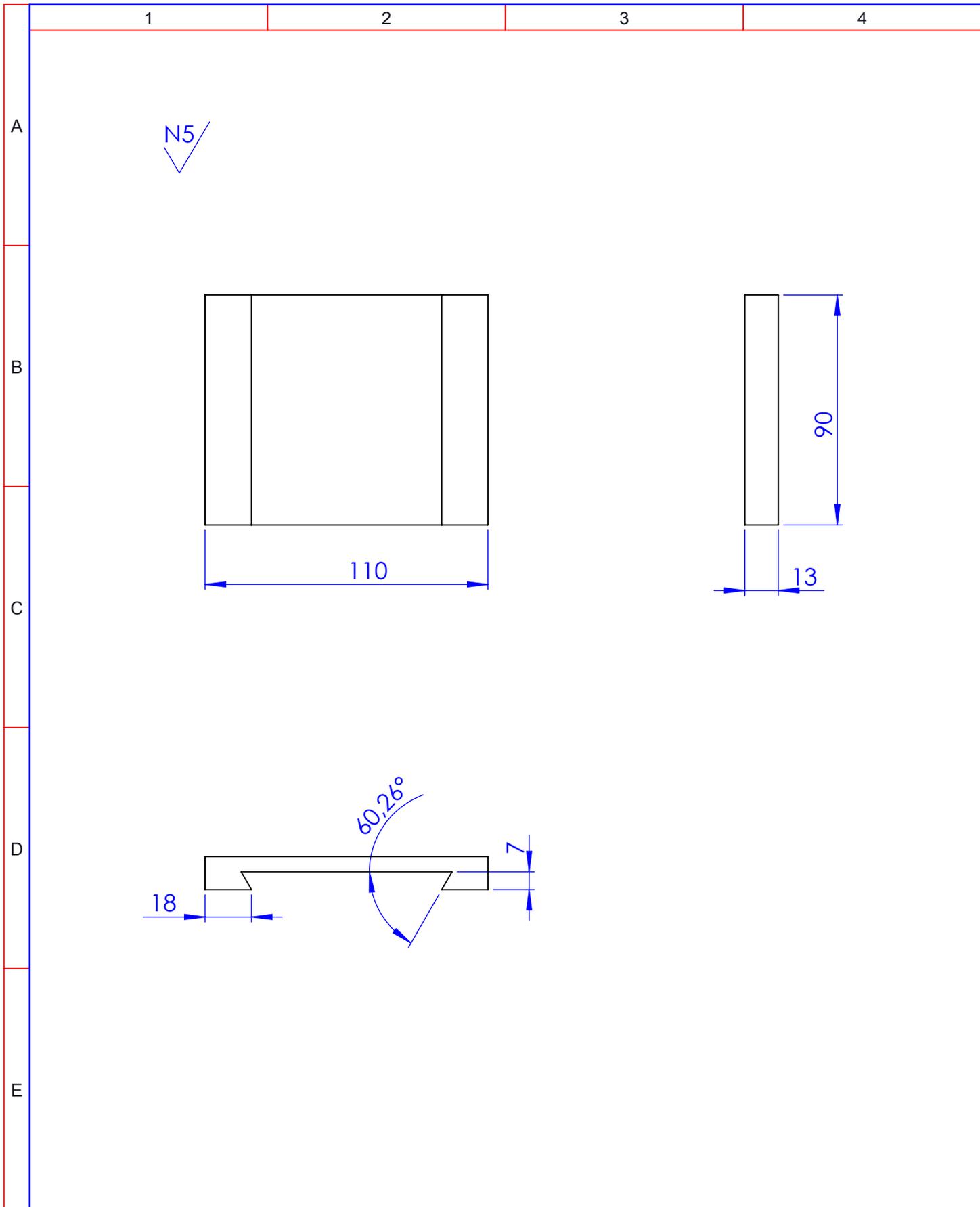
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



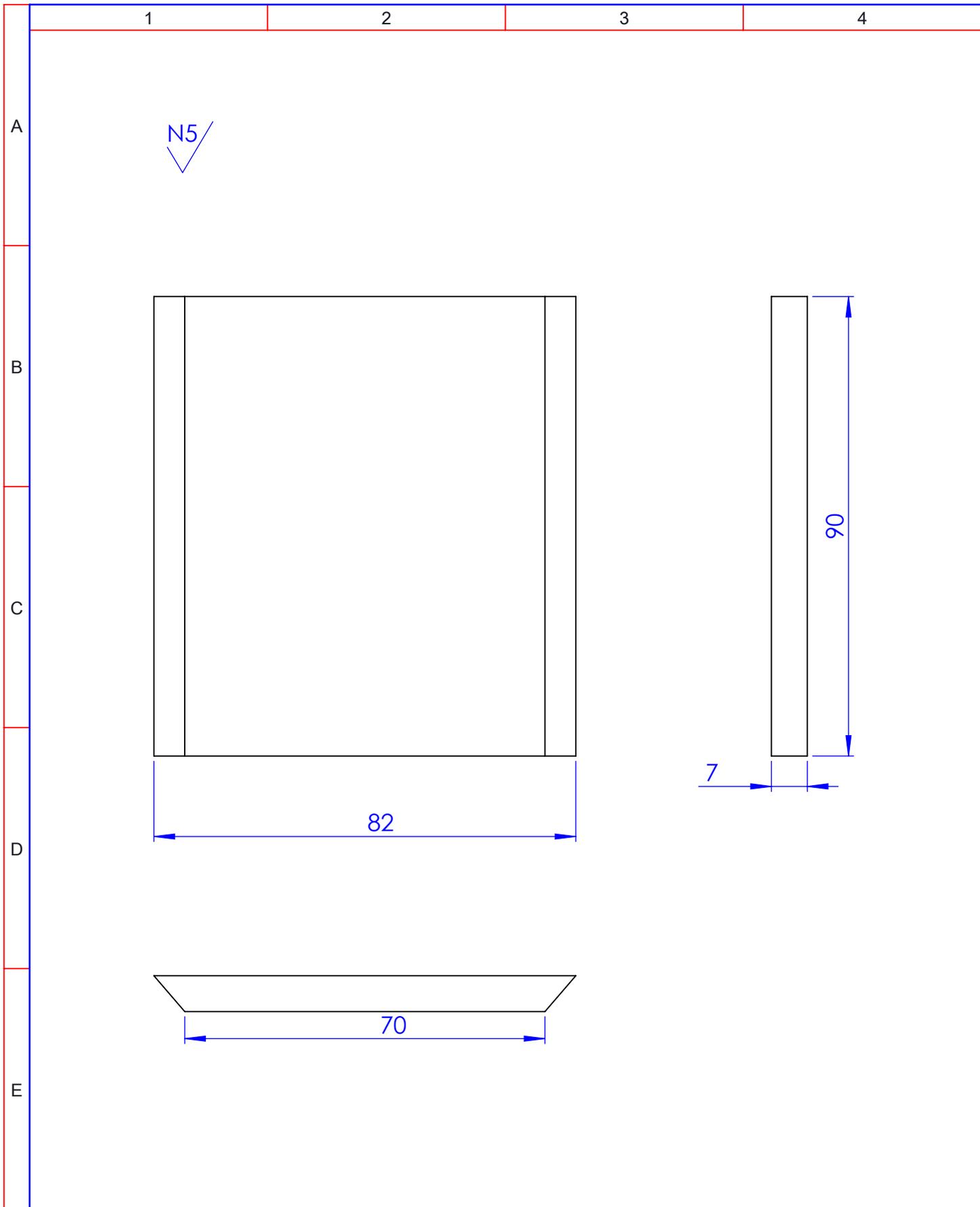
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1020	
				±0,1	0,098 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Balancín	Escala: 1:1
			Dib.	26/03/13	Morocho V.		
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 02 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



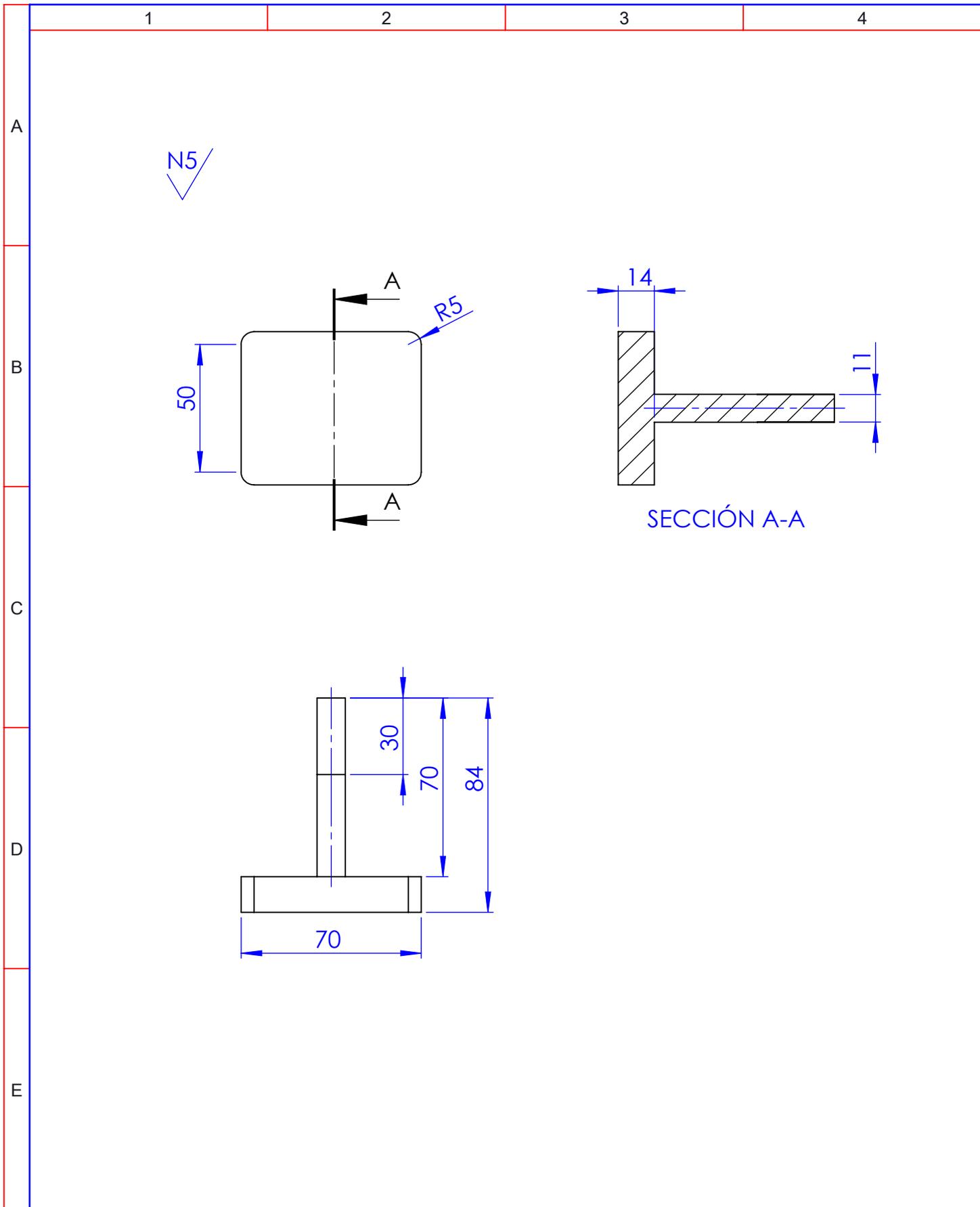
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36			
				±0,1	0.65 Kg				
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	26/03/13	Morocho V.			Biela y Rodamiento	1:2
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.				
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.			
				UTA		Número del dibujo:			
				Ing. Mecánica		03 de 12			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



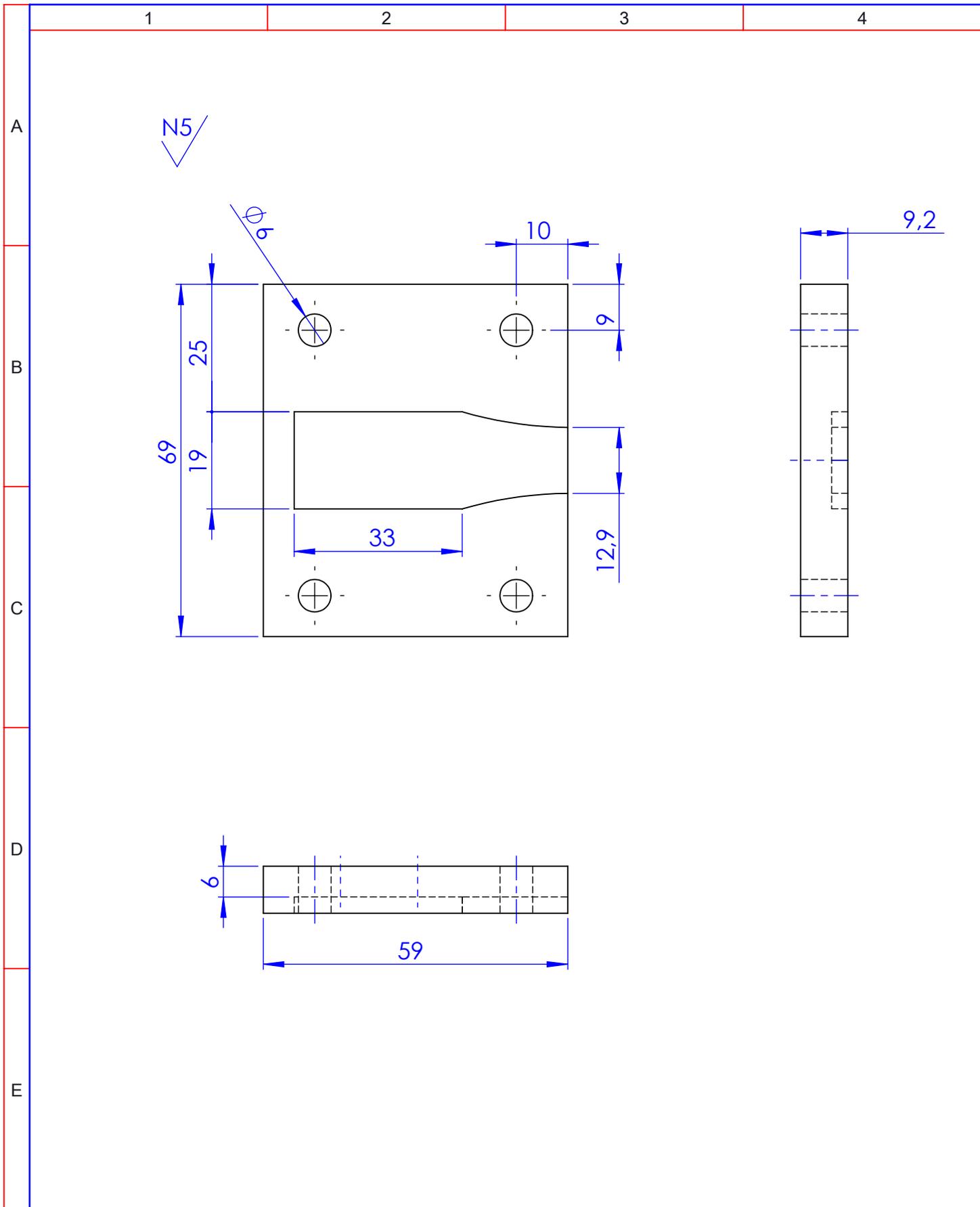
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,1	0.020 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Carril para Mordaza Inferior	Escala: 1:2
				Dib. 26/03/13	Morocho V.		
				Rev. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	Número del dibujo: 04 de 12	
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



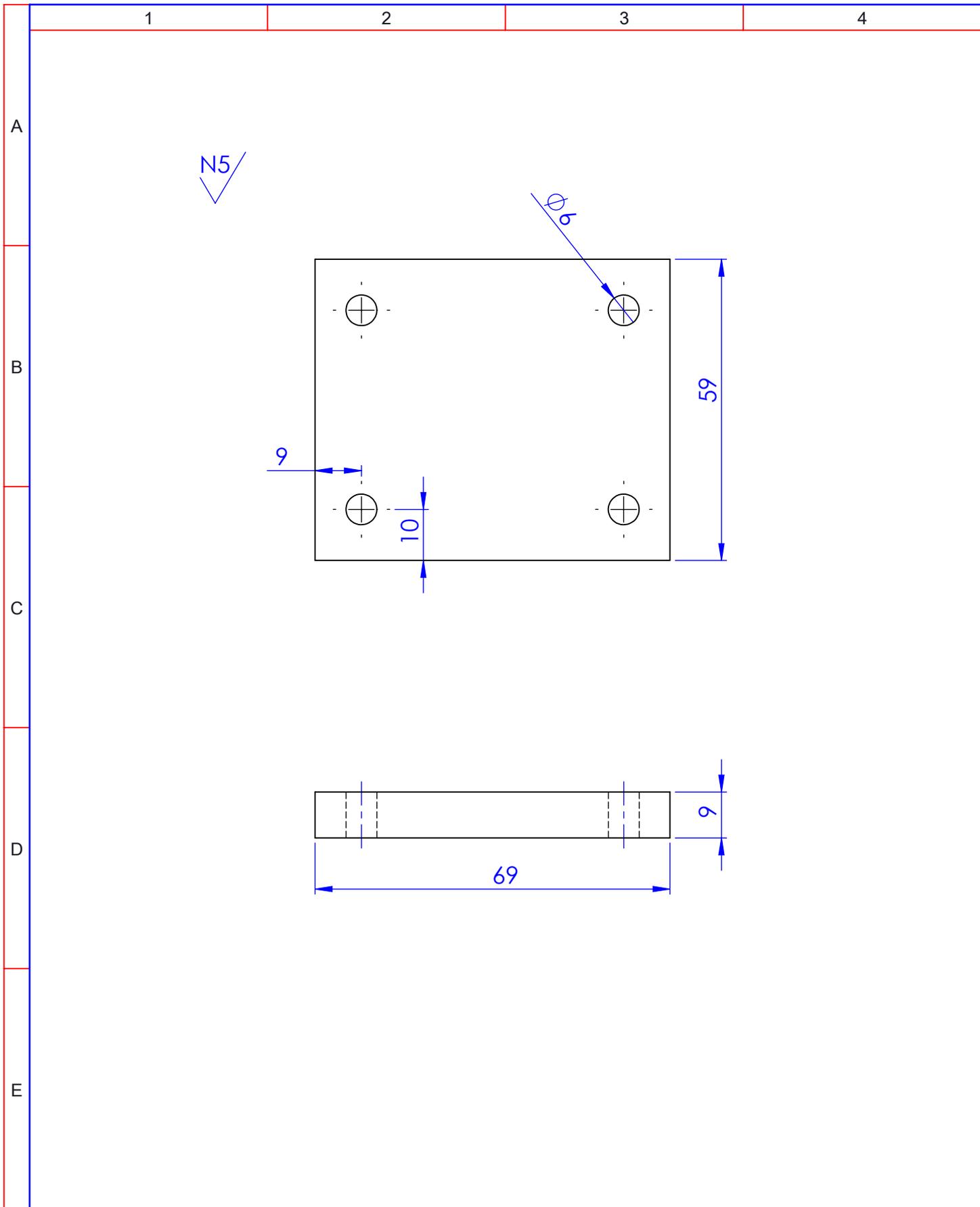
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36	
				±0,1	0.020 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Carril Interno	Escala: 1:1
			Dib.	26/03/13	Morocho V.		
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 05 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



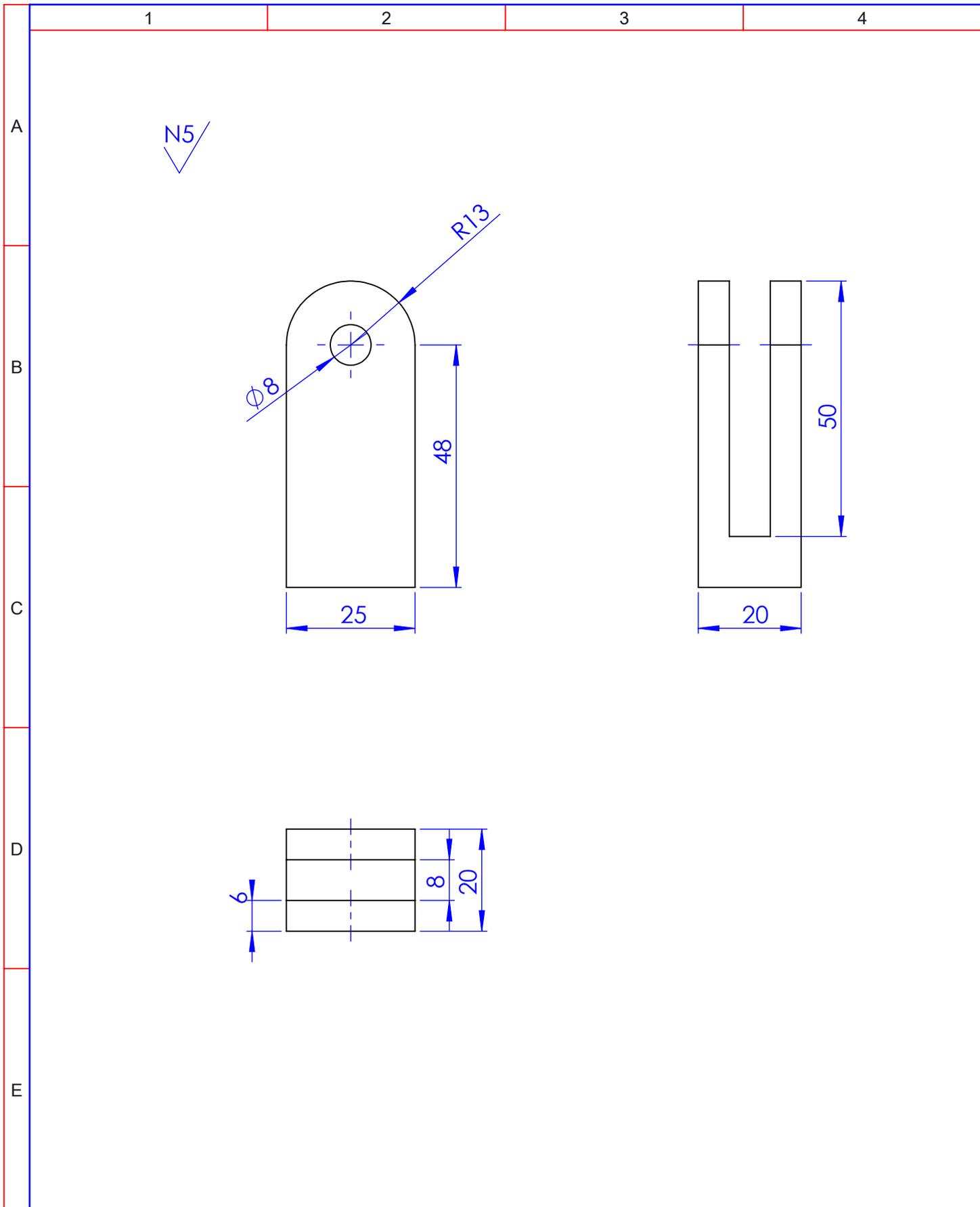
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,1	0.025 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Sujeción de Mordaza Superior	Escala: 1:2
			Dib.	26/03/13	Morocho V.		
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 06 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: Aluminio	
				$\pm 0,1$	0.025 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Mordaza Superior e Inferior	Escala: 1:1
				Dib. 26/03/13	Morocho V.		
				Rev. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	Número del dibujo: 07 de 12	
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

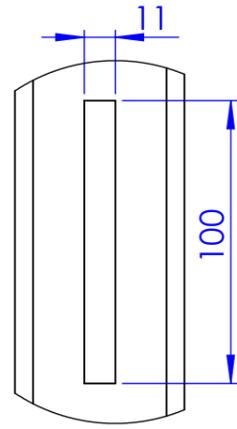


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ALUMINIO		
				±0,1	0.015 Kg			
				Fecha	Nombre	Denominación: Tapa de Mordaza	Escala: 1:1	
				Dib. 26/03/13	Morocho V.			
				Rev. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.			
				Apro. 26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	Número del dibujo: 08 de 12		
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

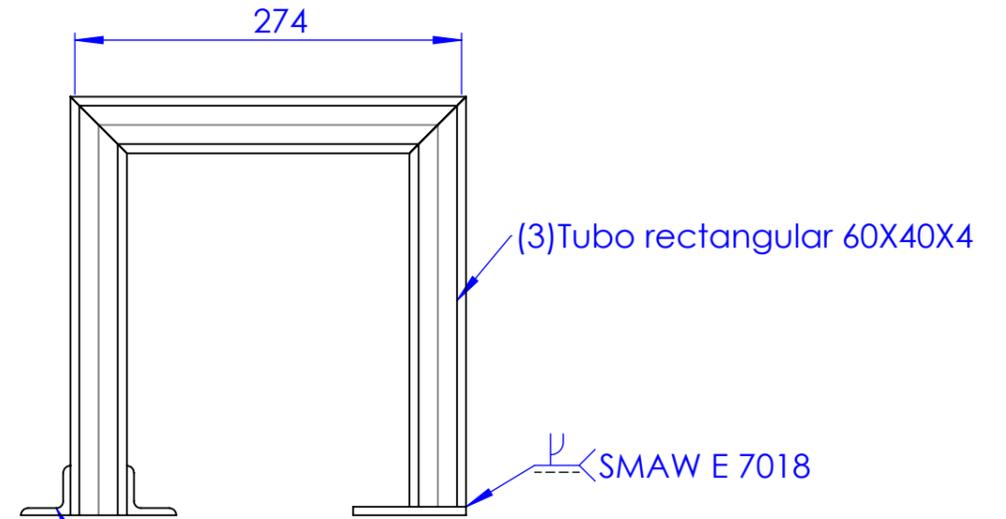
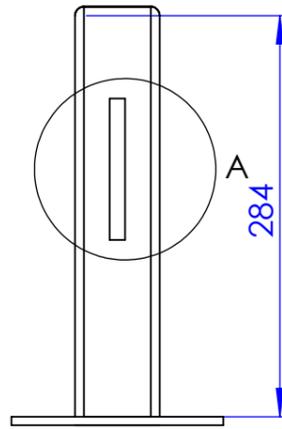


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,1	0.020 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Unión Biela y Mordaza Inferior	Escala: 1:1
			Dib.	26/03/13	Morocho V.		
			Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 09 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

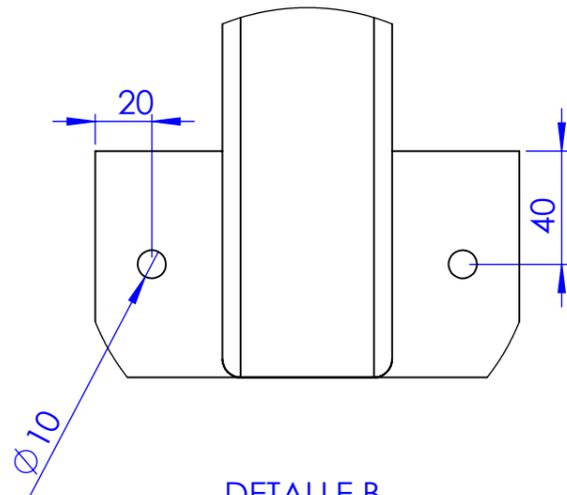
N9



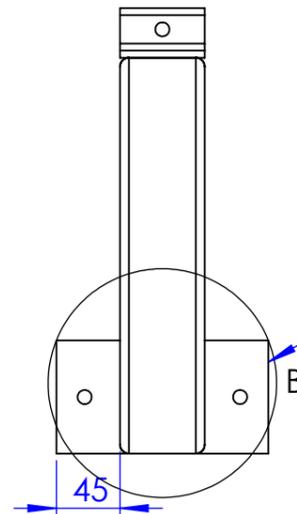
DETALLE A
ESCALA 2 : 5



Platina 60X50X6



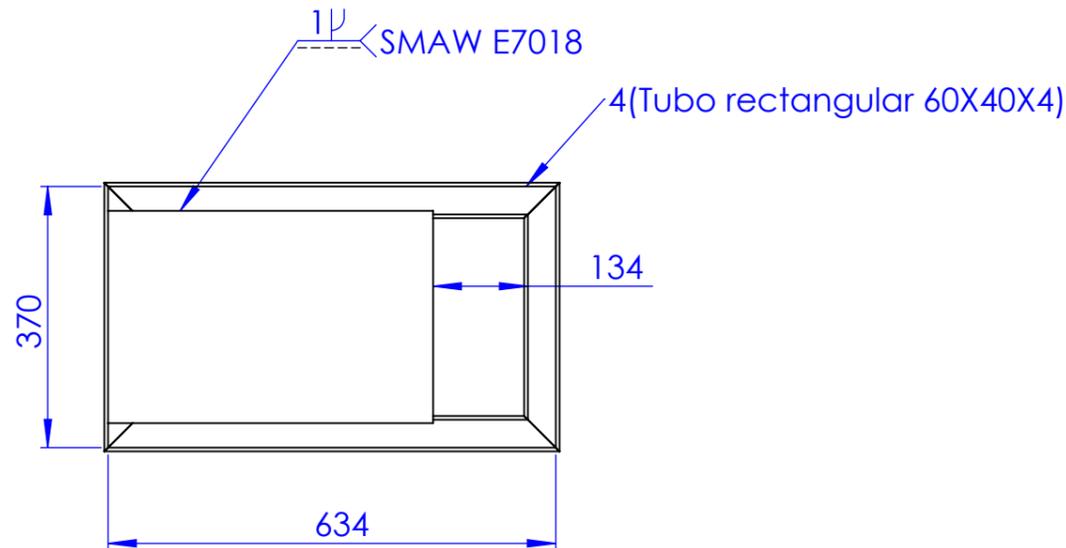
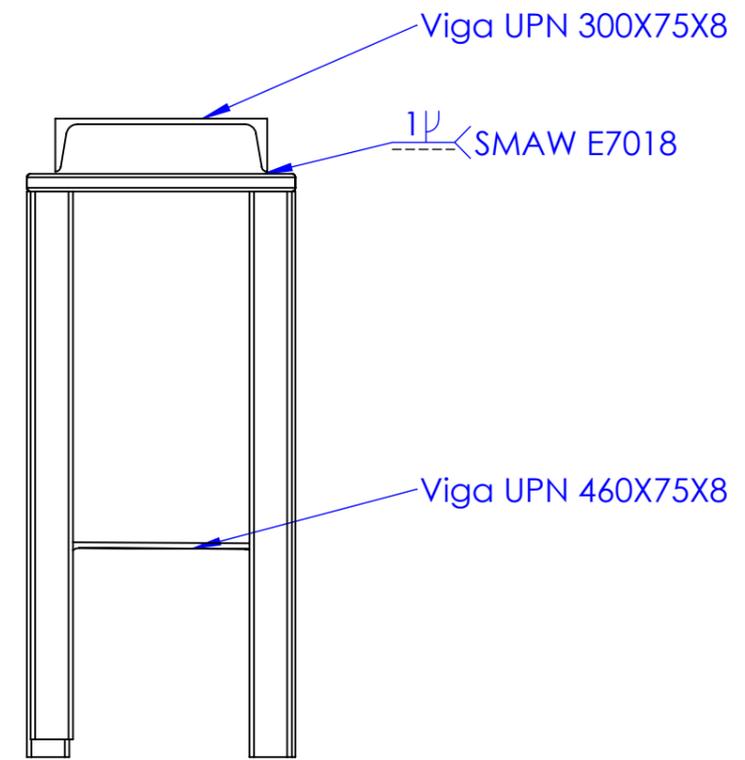
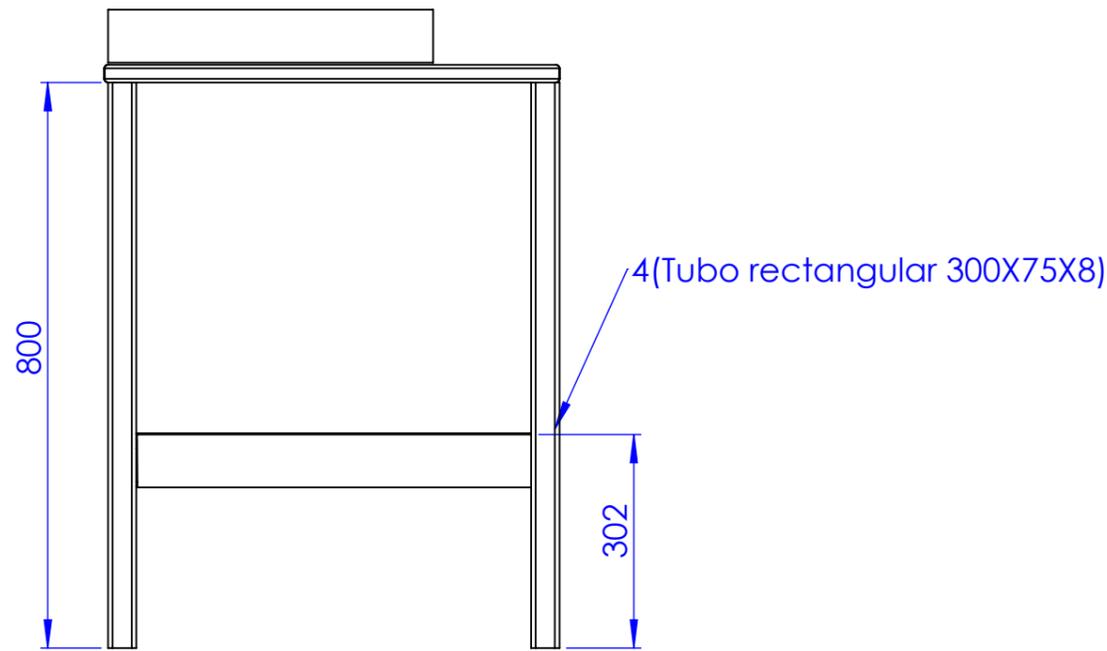
DETALLE B
ESCALA 2 : 5



Platina 150X80X6

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36	Denominación: Soporte de Morzada	Escala: 1:5
				±0,1	0.95 Kg			
					Fecha	Nombre	Número del dibujo: 10 de 13 (Sustitución)	
				Dib.	26/03/13	Morocho V.		
				Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.		
					UTA Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

N9



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36
				±0,1	28.50 Kg	
					Fecha	Nombre
				Dib.	26/03/13	Morocho V.
				Rev.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.
				Apro.	26/03/13	Ing. Guamanquispe J.
				UTA Ing. Mecánica		Denominación: Bancada
				Número del dibujo: 11 de 12		
						Escala: 1:10
						(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

