

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

MODALIDAD DE TESIS, PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA DE CABUYA (30%) Y MATRIZ POLIÉSTER (70%) PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA S-N

AUTOR: Diego Armando Carrillo Ramírez

TUTOR: Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg

AMBATO – ECUADOR

2014

INFORME DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA DE CABUYA (30%) Y MATRIZ POLIÉSTER (70%) PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA S-N”, desarrollado por la señor , Diego Armando Carrillo Ramírez egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y está acorde a lo establecido en el Reglamento de Graduación de Pregrado, modalidad Trabajo Estructurado de manera Independiente de la Universidad Técnica de Ambato y en el normativo para la presentación de proyectos de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo para ser sometidos a la evaluación del Jurado Examinador designado por el H Consejo Directivo.

Ambato, Diciembre del 2014

EL TUTOR

Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg

AUTORÍA DE LA TESIS

Yo, Diego Armando Carrillo Ramírez, portador de la C.I 1804238093 tengo a bien indicar que las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA DE CABUYA (30%) Y MATRIZ POLIÉSTER (70%) PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA S-N”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta son de mi absoluta responsabilidad.

Ambato, Diciembre del 2014

EL AUTOR

Diego Armando Carrillo Ramírez

C.I 1804238093

DEDICATORIA

A DIOS POR HABERME PERMITIDO LLEGAR HASTA ESTE PUNTO Y DARME LA VIDA PARA LOGRAR MIS OBJETIVOS, ADEMÁS DE SU INFINITA BONDAD Y AMOR.

A MIS PADRES GERMAN Y SONIA POR HABERME APOYADO EN TODO MOMENTO, POR SUS CONSEJOS, POR SU EJEMPLO DE PERSEVERANCIA Y CONSTANCIA, POR SUS VALORES, POR LA MOTIVACIÓN CONSTANTE LOS CUALES ME HA PERMITIDO SER UNA PERSONA DE BIEN.

A MI HERMANA Y MIS SOBRINOS POR SU CONSTANTE AMOR, ÚTILES PARA MI SUPERACIÓN PERSONAL, PORQUE SIEMPRE ME HAN APOYADO INCONDICIONALMENTE.

A MIS ABUELITOS POR SER FUENTE DE MOTIVACIÓN Y POR DEJARME LA HERENCIA MÁS IMPORTANTE: LA FAMILIA Y LA EDUCACIÓN.

AGRADECIMIENTO

AL ING. MG. JORGE GUAMANQUISPE TUTOR DE TESIS, POR SU INCOMPARABLE AYUDA, COLABORACIÓN, CONSEJOS Y ORIENTACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

A MIS PADRES, HERMANA, SOBRINOS, ABUELOS, TÍOS, FAMILIA EN GENERAL POR APOYARME EN TODO MOMENTO Y CONFIAR EN MÍ.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA POR HABERME ABIERTO SUS PUERTAS, BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE SUPERARME, A LOS DOCENTES DE LA FACULTAD POR EL CONOCIMIENTO TRANSMITIDO Y SUS CONSEJOS DE SUPERACIÓN, ESFUERZO, DEDICACIÓN Y HONESTIDAD.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	i
Informe del tutor	ii
Autoría de la tesis.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras.....	xiv
Resumen ejecutivo	xviii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis crítico	2
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema	3
1.2.5 Preguntas directrices	3
1.2.6 Delimitación.....	4
1.2.6.1 Del contenido	4
1.2.6.2 Espacial	4
1.2.6.3 Temporal.....	4
1.3 Justificación	4

1.4 Objetivos	5
1.4.1 General	5
1.4.2 Específicos	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos	6
2.1.1 Antecedentes	6
2.1.2 Fundamentación teórica	8
2.1.2.1 Fatiga de los metales	8
2.1.2.2 Ensayo de fatiga por flexión rotatoria.....	17
2.1.2.3 Relación módulo de elasticidad vs temperatura.....	17
2.1.2.4 Esfuerzo aplicado.....	18
2.1.2.5 Deflexión	21
2.1.2.6 Ensayo a fatiga mecánica de los polímeros	23
2.1.2.7 Materiales compuestos de matriz termoestable.....	24
2.1.2.8 Refuerzo de compuesto con fibras	27
2.1.2.9 Interfaz fibra matriz	30
2.1.2.10 Estratificación manual.....	30
2.1.2.11 Estratificación de preimpregnados	31
2.1.2.12 Moldeo por aspiración.....	32
2.1.2.13 Moldeo por compresión	32
2.1.2.14 Fibras naturales	32
2.1.2.15 Fibras naturales	35
2.1.2.16 Elaboración de materiales compuestos	40
2.1.2.17 Fibra de cabuya	43

2.1.2.18 Desarrollo del proceso de hilado de la cabuya.....	43
2.1.2.19 Resina epoxi	46
2.1.2.20 Materiales compuestos.....	46
2.2 Fundamentación filosófica.....	48
2.3 Fundamentación legal	49
2.4 Categorías fundamentales	50
2.5 Hipótesis	51
2.6 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	51
2.6.1 Variable Independiente	51
2.6.2 Variable dependiente	51
2.6.3 Termino de relación	51
 CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	
3.1 Enfoque	52
3.2 Modalidad básica de la investigación	52
3.2.1 Experimental	52
3.2.2 De campo	53
3.2.3 Bibliográfica	53
3.3 Nivel o tipos de investigación.....	53
3.3.1 Exploratoria.....	53
3.3.2 Descriptiva	53
3.3.3 Correlacional.....	53
3.4 Población y muestra.....	54
3.4.1 Población.....	54
3.5 Operacionalización de las variables	55

3.6 Plan de recolección de la información	57
3.6.1 Observación	57
3.7 Plan de procesamientos y análisis	57
3.7.1 Plan de procesamiento de la información	57
3.7.2 Análisis e interpretación de resultados.....	58

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados	59
4.1.1 Obtención del tamaño de la muestra	59
4.1.2 Determinación de la estratificación.....	60
4.1.3 Determinación de la configuración	60
4.1.3.1 Tipos de configuración.....	60
4.1.4 Determinación de la probeta para el ensayo	61
4.1.4.1 Preparación de las probetas.....	61
4.1.4.2 Proceso seguido en la elaboración de la probeta.....	63
4.1.5 Determinación de la fracción volumétrica	64
4.1.5.1 Determinación del volumen de la matriz y el refuerzo	65
4.1.6 Proceso para realizar el ensayo	67
4.1.6 Análisis matemático del esfuerzo	68
4.1.6.1 Datos de deflexión	68
4.1.6.2 Datos de temperaturas según el número de ciclos	72
4.1.7 Análisis estadístico de los ensayos fibra corta	74
4.1.7.1 Relación T-vs-N probeta fibra corta	75
4.1.7.2 Corrección del esfuerzo con la T probeta fibra corta.....	78
4.1.7.3 Relación S-vs-N probeta fibra corta.....	80

4.1.8	Análisis estadístico de los ensayos fibra larga	85
4.1.8.1	Relación T-vs-N probeta fibra larga	86
4.1.8.2	Corrección del esfuerzo con la T para la fibra larga	89
4.1.8.3	Relación S-vs-N probeta fibra larga.....	92
4.2	Demostración de hipótesis	96
4.2.1	Frecuencia esperada para la fibra corta.....	97
4.2.2	Chi-cuadrado para la probeta fibra corta.....	98
4.2.3	Grado de significancia para la fibra corta	100
4.2.4	Aprobación de la hipótesis fibra corta	101
4.2.5	Frecuencia esperada para la fibra larga.....	101
4.2.6	Chi-cuadrado para la probeta fibra larga.....	103
4.2.7	Grado de significancia para la fibra larga	104
4.2.8	Aprobación de la hipótesis fibra larga	104
 CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1	Conclusiones	106
5.2	Recomendaciones	108
 CAPÍTULO VI		
PROPUESTA		
6.1	Datos informativos.....	110
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	111
6.3	Justificación	112
6.4	Objetivos	113
6.4.1	Objetivo general.....	113
6.4.2	Objetivos específicos	113

6.5 Análisis de factibilidad	113
6.6 Fundamentación.....	114
6.6.1 Moldes.....	114
6.6.2 Refuerzos	115
6.6.3 Fracción volumetrica para el asiento	115
6.6.4 Análisis estático del asiento	115
6.6.5 Análisis de deflexión del asiento	119
6.6.5 Estructura de la base del asiento	123
6.7 Metodología modelo operativo	123
6.7.1 Construcción del molde	124
6.7.2 Laminado de las dos tapas del asiento	129
6.7.3 Maquinaria y equipo utilizado	134
6.8 Administración.....	134
6.9 Previsión de la evaluación	136
BIBLIOGRAFÍA	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Característica estructural de los polímeros de condensación.....	24
Tabla 2-2 Clasificación de resinas termoestables	25
Tabla 2-3 Características de las matrices termoestables	26
Tabla 2-4 Fibras naturales de origen animal y vegetal.	34
Tabla 2-5 Propiedades de fibras naturales.	37
Tabla 2-6 Ventajas y desventajas de fibras naturales como refuerzo	39
Tabla 2-7 Comparación entre fibras naturales y fibra de vidrio.	39
Tabla 2-8 Comparación entre fibras naturales y sintéticas.	40
Tabla 2-9 Características mecánicas de la fibra de cabuya.....	45
Tabla 3-1 Operacionalización variable independiente.....	55
Tabla 3-2 Operacionalización variable dependiente.....	56
Tabla 4-1 Determinación del tamaño de la muestra.....	60
Tabla 4-2 Datos del ensayo de la fibra corta.....	69
Tabla 4-3 Datos del ensayo de la fibra larga.....	70
Tabla 4-4 Datos de temperaturas vs número de ciclo	72
Tabla 4-5 Relación s vs n probeta fibra corta	74
Tabla 4-6 Datos para la regresión de t vs logn probeta fibra corta	76
Tabla 4-7 Constantes de regresión para la probeta fibra corta.....	77
Tabla 4-8 Corrección del esfuerzo con la t probeta fibra corta.....	78
Tabla 4-9 Datos para la regresión de s vs n probeta fibra corta	81
Tabla 4-10 Constantes de regresión para la probeta fibra corta.....	82
Tabla 4-11 Constantes de regresión para la probeta fibra corta.....	83
Tabla 4-12 Relación s vs n probeta fibra larga	85
Tabla 4-13 Datos para la regresión de t vs logn probeta fibra larga	88

Tabla 4-14 Constantes de regresión para la probeta fibra larga.....	89
Tabla 4-15 Corrección del esfuerzo con la t probeta fibra larga.....	90
Tabla 4-16 Datos para la regresión de s vs n probeta fibra larga.....	92
Tabla 4-17 Constantes de regresión para la probeta fibra larga.....	93
Tabla 4-18 Constantes de regresión para la probeta fibra larga.....	94
Tabla 4-19 Frecuencia esperada probeta fibra corta.....	97
Tabla 4-20 Cálculo del chi-cuadrado probeta fibra corta.....	99
Tabla 4-21 Frecuencia esperada probeta fibra larga.....	102
Tabla 4-22 Cálculo del chi-cuadrado probeta fibra larga.....	103
Tabla 6-1 Propiedades del material y del modelo.....	116
Tabla 6-2 Cargas y sujeciones aplicadas al asiento para el análisis estático.....	117
Tabla 6-3 Reacciones del análisis estático.....	117
Tabla 6-4 Deformación del análisis estático.....	118
Tabla 6-5 Esfuerzo y factor de seguridad del análisis estático.....	118
Tabla 6-6 Cargas y sujeciones aplicadas al asiento para el análisis de deflexión.....	120
Tabla 6-7 Reacciones del análisis de deflexión.....	121
Tabla 6-8 Deformación del análisis de deflexión.....	121
Tabla 6-9 Esfuerzo y factor de seguridad del análisis de deflexión.....	121
Tabla 6-10 Maquinaria y equipos utilizados en la construcción del asiento.....	134
Tabla 6-11 Costo de la construcción del laminado, base, soporte, del asiento.....	134
Tabla 6-12 Costo de mano de obra de la construcción del asiento.....	135
Tabla 6-13 Costo de construcción de las probetas para los ensayos.....	135
Tabla 6-14 Costo total de la investigación.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Tipos de esfuerzos cíclicos.....	9
Figura 2-2 Fallo por fatiga por flexión rotativa	10
Figura 2-3 Esfuerzos pulsantes tensión-tensión.....	11
Figura 2-4 La representación de las curvas s-n.....	13
Figura 2-5 Curvas s-n de vida finita.....	14
Figura 2-6 Modelo vida vs deformación.....	14
Figura 2-7 Modelo de castillo	15
Figura 2-8 Máquina moor y de tipo voladizo	16
Figura 2-9 Máquina brandolismo.....	16
Figura 2-10 Máquina de fatiga por flexión rotativa.....	17
Figura 2-11 Variación con la temperatura del módulo de elasticidad.....	18
Figura 2-12 Probeta (autocad).....	18
Figura 2-13 Viga en flexión (mdsolid)	19
Figura 2-14 Inercia de un rectángulo	20
Figura 2-15 Viga en voladizo, carga extrema	21
Figura 2-16 Viga en deflexión empotrada en un extremo.....	22
Figura 2-17 Orientación de la fibra.....	28
Figura 2-18 Orientación de la fibra continua y discontinua.....	29
Figura 2-19 Efecto de orientación de la fibra, variación a la tensión.....	29
Figura 2-20 Humectación de la matriz.....	30
Figura 2-21 Esquema del proceso de producción por laminar manual	31
Figura 2-22 Preimpregnado	31
Figura 2-23 Fibra natural	33
Figura 2-24 Cadena celobiósica, cadena proteica	38

Figura 2-25 Conformado por molde compresión.....	40
Figura 2-26 Conformado de molde por transferencia de resina.....	41
Figura 2-27 Conformado de molde bobinados de filamento	41
Figura 2-28 Conformado de molde proceso continuo de pultrusión.....	42
Figura 2-29 Conformado de molde laminado de compuesto	42
Figura 2-30 Fibra de cabuya	43
Figura 2-31 Tipos de tejidos de cabuya (grueso, normal, fino)	45
Figura 2-32 Estructura de epoxi prepolymer	46
Figura 2-33 Fotografía de microscopio electrónico del poliéster	47
Figura 2-34 Resina acrílica	48
Figura 2-35 Categorías fundamentales.	50
Figura 4-1 Modelo de la probeta.....	60
Figura 4-2 Probeta tipo a para ensayo a fatiga por flexión	61
Figura 4-3 Probeta tipo b para ensayo a fatiga por flexión	62
Figura 4-4 Máquina ensayo de fatiga mecánica por flexión	62
Figura 4-5 Proceso de la elaboración de la probeta	63
Figura 4-6 Proceso de la elaboración de la probeta	67
Figura 4-7 Probeta.....	69
Figura 4-8 Relación temperatura vs número de ciclos probeta fibra corta	75
Figura 4-9 Relación temperatura vs logaritmo del n probeta fibra corta	75
Figura 4-10 Relación s-vs-n probeta fibra corta	79
Figura 4-11 Relación s-vs-log n probeta fibra corta	80
Figura 4-12 Log s-vs-log n probeta fibra corta	80
Figura 4-13 Relación s-vs-n probeta fibra corta	84
Figura 4-14 Relación s-vs-log n probeta fibra corta	85

Figura 4-15 Relación temperatura vs número de ciclos probeta fibra larga	87
Figura 4-16 Relación temperatura vs log.n probeta fibra larga	87
Figura 4-17 Relación s-vs-n probeta fibra larga	91
Figura 4-18 Relación s-vs-log n probeta fibra larga	91
Figura 4-19 Relación log s-vs-log n probeta fibra larga	92
Figura 4-20 Relación s-vs-n probeta fibra larga	95
Figura 4-21 Relación s-vs-log n probeta fibra larga	96
Figura 4-22 Curvas comparativas s vs log n probeta fibra corta.....	101
Figura 4-23 Curvas comparativas s vs log n probeta fibra larga.....	105
Figura 5-1 Probetas con fibra alineadas al azar y longitudinal	106
Figura 5-2 Forma de la ruptura de la probeta.....	107
Figura 6-1 Asiento de un bus urbano	116
Figura 6-2 Estructura base del asiento de un bus urbano.....	123
Figura 6-3 Limpieza de la matriz.....	124
Figura 6-4 Aplicación de la cera	124
Figura 6-5 Limpieza de la cera	125
Figura 6-6 Aplicación del desmoldante	125
Figura 6-7 Aplicación del yercol en la superficie frontal	126
Figura 6-8 Aplicación del yercol en la superficie posterior.....	126
Figura 6-9 Colocación capa de fibra de vidrio parte frontal	126
Figura 6-10 Colocación capa de fibra de vidrio parte posterior.....	127
Figura 6-11 Untar la resina sobre fibra de vidrio parte frontal	127
Figura 6-12 Untar la resina sobre fibra de vidrio parte posterior.....	127
Figura 6-13 Retirar excesos del material de los bordes	128
Figura 6-14 Molde tapa 1 del asiento de un bus urbano	128

Figura 6-15 Molde tapa 2 del asiento de un bus urbano	129
Figura 6-16 Molde untado con cera	129
Figura 6-17 Molde removido con cera.....	130
Figura 6-18 Molde untado con desmoldante.....	130
Figura 6-19 Molde aplicado resina poliéster.....	131
Figura 6-20 Ubicación de la fibra de cabuya en el molde.....	131
Figura 6-21 Ensamble de los moldes laminados.....	132
Figura 6-22 Asiento desmoldado vista de frente y el espaldar	132
Figura 6-23 Asiento listo para el pintado.....	133
Figura 6-24 Asiento final lista para ser utilizado	133

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA DE CABUYA (30%) Y MATRIZ POLIÉSTER (70%) PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA S-N

Autor: Diego Armando Carrillo Ramírez

Tutor: Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg

Fecha: Ambato, Diciembre del 2014

RESUMEN EJECUTIVO

Para la elaboración de este proyecto se analizó las propiedades mecánicas como el comportamiento de la vida a fatiga mecánica por flexión para determinar el diagrama S- N. y se determinó el proceso de obtención de las probetas para el ensayo a fatiga mecánica por flexión, la misma que fue mediante la conformación por molde de compresión, las probetas fueron preparados según la norma ASTM D671, la cual especifica los especímenes usados en las pruebas de fatiga axiales, Se realizó el análisis de la selección del tipo de fibra de cabuya, la misma que fue la fibra larga, debido a que la probeta con fibra larga soporta un mayor esfuerzo en comparación con la probeta de fibra corta dispersa. Se pudo identificar que la temperatura influye directamente en la resistencia a fatiga por flexión. Se determinó mediante la regresión una relación matemática del esfuerzo en función del número de ciclos. En el método de ensayo fue utilizada la máquina de cantiléver con probetas estandarizadas empotradas en los extremos uno fijo y otro móvil con una frecuencia de 30 Hz. Con espesor de 8 mm, sobre los cuales generaron deformaciones y según la deflexión que se le aplicaba el esfuerzo iba variando, mediante un contador electrónico se determinó el número de ciclos hasta la falla y así poder tener la información necesaria para generar la curva mencionada anteriormente. Y así tener ventajas favorables en los aspectos económicos y ambientales.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA DE CABUYA (30%) Y MATRIZ POLIÉSTER (70%) PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA S-N

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente predominan los polímeros sintéticos o procedentes del petróleo que pueden ser termoplásticos “vírgenes” o reciclados como el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el poli cloruro de vinilo. En esta categoría también se encuentran las resinas termoestables como las de poliéster insaturado, las de fenol formaldehído, los isocianatos y los epoxis. En la actualidad existe gran interés comercial por el desarrollo y mejora de estos productos, no solo por el agotamiento de las fuentes petroquímicas sino por una mayor concienciación medioambiental y social.

Las fibras de cabuya se están convirtiendo en una alternativa de bajo costo, ligero y al parecer ambientalmente mejor a la fibra de vidrio en los composites. Es probable que los composites de fibra natural sean ambientalmente superiores a los composites de fibra de vidrio en la mayoría de los casos por las siguientes razones, la producción de fibras naturales tienen menores impactos ambientales en comparación con la producción de fibra de vidrio, los composites de fibras naturales tienen un mayor contenido de fibra para un rendimiento equivalente,

reduciendo más los contaminantes basados en el contenido de polímero, el peso ligero de los composites de fibras naturales mejora la eficiencia de combustible y reduce las emisiones en la fase de utilización del componente, especialmente en aplicaciones de automóviles, y el final de la vida de incineración de las fibras naturales da como resultado energía recuperada y créditos de carbono.

La industria carrocera ha tenido gran adelanto e incremento las dos últimas décadas en nuestro país, la capacidad de producción para cubrir el mercado nacional y ahora con proyección internacional, por lo tanto se nota la necesidad de estudiar nuevas alternativas en campo de nuevos materiales. Ya que en los últimos cinco años se han venido realizando algunas investigaciones dentro de estos compuestos, específicamente en (resina poliéster + fibra de vidrio) y también en materiales compuestos híbridos (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra natural); pero de aplicación diferente a la industria carrocera, que dan un parámetro de factibilidad de la realización de este estudio. En nuestra industria por demás consumida tanto en materia prima, como en tecnología se ha despreocupado por completo sobre este tema y las únicas instituciones que han venido desarrollando algo de investigación han sido las universidades, el tema de materiales naturales en nuestro país es prácticamente nuevo y por ende existen muy pocos trabajos realizados como tesis de grado.

En nuestra provincia a pesar de ser pionera en construcción de carrocerías que es donde se puede utilizar mayoritariamente los polímeros, tampoco se ha hecho nada y nuestros industriales han tenido que importar piezas moldeadas en fibras naturales o realizadas empíricamente o artesanalmente. En la Universidad Técnica de Ambato por intermedio de la Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica de la Carrera de Mecánica, realiza investigaciones relacionados con materiales de fibra cabuya (30%) y matriz poliéster (70%).

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Actualmente nuestro país ha sufrido muchos cambios en todo nivel, se han visto afectados varios sectores y beneficiados otros, uno de los sectores afectados es el carroceros y metalmeccánico en general por la falta de investigación para el

desarrollo de nuevos materiales han tenido que importar, por lo que dichas empresas no pueden ser competitivas con industrias de la región.

Otro problema es la falta de empleo y posterior migración de mano de obra hacia otros países por no tener la infraestructura y la investigación necesaria para realizarlos en nuestro país.

1.2.3 PROGNOSIS

Sin la investigación y el conocimiento de nuevos polímeros, estas tecnologías no podrían desarrollarse en el futuro, ni siquiera imaginarse, y específicamente sin el estudio planteado no se podría saber sobre la posibilidad de utilizar polímeros como elementos de máquinas sometidos a fatiga por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz poliéster, que llegar a entender cómo será el impacto de la investigación de nuevos materiales que se obtendrá en el futuro. Toda nueva tecnología, el avión supersónico y el tren de alta velocidad, las pequeñas baterías para teléfonos móviles, la optoelectrónica, los nuevos implantes quirúrgicos y nuevos tejidos sintéticos, necesitan del desarrollo de un conjunto amplio de materiales con propiedades muy específicas para el mejor desempeño de las mismas.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se podrá estudiar el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) para determinar el diagrama S-N?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Cuál será la configuración del refuerzo con fibra de cabuya?

¿Cuál será el proceso para la obtención de las probetas para el ensayo a fatiga mecánica por flexión de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%)?

¿Cuál será el comportamiento a fatiga por flexión de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) bajo la norma ASTM D 671?

¿Los materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz poliéster son muy poco utilizados a nivel mundial como elemento de máquinas?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 Del contenido

El estudio sobre el comportamiento mecánico de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) se centrará en el estudio a fatiga mecánica por flexión, que estará limitado al Área de Ingeniería de Materiales, Diseño de Elementos Mecánicos, Procesos de Manufactura y Sistemas Mecánicos.

1.2.6.2 Espacial

El proceso de la investigación fue realizada en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en el Laboratorio de Materiales de la ciudad de Ambato donde se obtuvo información de campo, la obtención de información teórica en la biblioteca de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.6.3 Temporal

El estudio sobre el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) para determinar el diagrama S-N se lo realizó en el periodo Septiembre 2013- Diciembre 2014.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La investigación será justificada por muchos aspectos: Importante, ya que se obtendrá mucha información de los materiales compuestos de fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) sobre el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de estos materiales. Tecnológico, ya que al incorporar este tipo de

materiales compuestos de fibra de cabuya y matriz resina poliéster considera que será posible la construcción de máquinas más eficientes, silenciosas y livianas. Innovación que se logra con la investigación, con los ensayos que se realizará a estos materiales para el beneficio de la facultad. Factibilidad técnica y económica, ya que la investigación será por parte del investigador. En la provincia de Tungurahua no existen investigaciones conocidas, es por eso que he tomado esta iniciativa, ya que es una investigación factible de realizarlo, lo cual contribuirá en el desarrollo de nuevas aplicaciones de este tipo de materiales compuestos con fibra de cabuya, aportando de alguna manera al desarrollo industrial de nuestra provincia y el engrandecimiento de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para la formación de profesionales líderes competentes con visión humanística y pensamiento crítico propositivo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- Desarrollar un estudio sobre el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) para determinar el diagrama S-N.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar la configuración del refuerzo con fibra de cabuya.
- Determinar el proceso de obtención de probetas para el ensayo a fatiga mecánica por flexión de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%).
- Determinar el comportamiento a fatiga por flexión de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) bajo la norma ASTM D 671.
- Evaluar los datos obtenidos para establecer la posibilidad de utilizar estos materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz resina poliéster.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 ANTECEDENTES

Del departamento de Ciencia de Materiales de la Universidad Politécnica de Madrid L.P. Canal, J. Llorca, en los informes de la Mecánica de Fractura, Vol. 1 (2007), han estudiado el comportamiento mecánico hasta la rotura de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados por fibras unidireccionales mediante técnicas micro mecánicas computacionales. En dicha investigación se ha comprobado como el aumento de la porosidad inicial disminuye la tensión de plastificación de la matriz y acelera el daño en el material. La variación en la sensibilidad a la presión provoca que en las bandas de cortante y la porosidad se concentren en orientaciones diferentes dentro del material.

A nivel mundial el Instituto de Ciencia y Tecnología se dedica al desarrollo y publicación de nuevas tecnologías. El Área de Ciencia y Tecnología de materiales promueve el avance del conocimiento científico, y el desarrollo tecnológico de materiales al servicio de la sociedad. La aplicación de los materiales a nuevos usos se puede conseguir mejorando y cambiando sus propiedades por innovadores tratamientos. De forma similar la imaginación puesta al servicio de estos objetivos producirá nuevos materiales de propiedades nunca antes imaginadas. El Área de Ciencia y Tecnología de materiales, ha desarrollado un extenso número de investigaciones, entre ellos podemos mencionar el estudio realizado con nano compuesto polimérico con propiedades térmicas, mecánicas y eléctricas sustancialmente mejoradas debido a una excelente dispersión de la carga en la matriz polimérica y a una óptima adhesión interfaz refuerzo- matriz. La matriz es poli (éter cetona) (PEEK) o polímeros estructuralmente similares, los esfuerzos son nano materiales de carbono funcionalizados en cuya superficie se injerta

covalentemente un polímero derivado de la matriz. Estos nano compuestos son idóneos para la aplicación en la industria aeroespacial, aeronáutica o del transporte, así como para la fabricación de recubrimientos antiestáticos y de apantallamiento de señales eléctricas.

También han desarrollado nuevos nano compuestos poliméricos basados en polipropileno y materiales ligeros, como partículas esféricas de nitruro de carbono, usando técnicas habituales de procesado en fundido. Estas nano partículas no requieren exfoliación o modificación previa, utilizando poca cantidad de las mismas es posible la obtención de materiales mucho más duros y ligeros.

Erasmus Correa Gómez de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, realiza un estudio sobre la resistencia a la fatiga ultrasónica de plásticos industriales (poliamida nylon), en la que concluye que la durabilidad del material con aproximadamente entre el 9 al 11 % del límite de fluencia es de 5.6×10^8 a 2.9×10^9 ciclos.

El Laboratorio de Resistencia de Materiales – Guía de Laboratorio realiza una investigación por parte de Gabriel Calle Trujillo con el tema de: Determinación de las Propiedades Mecánicas de los Materiales Sometidos a fatiga mecánica con la cual concluye que dependiendo del material, la viga se deforma de manera distinta, las deformaciones mayores sufren las fibras que se encuentran más lejos de capa neutra.

August Wöhler en 1871 publicó los resultados de sus investigaciones aplicadas al sistema de trenes donde determinó; que la falla en los ejes de los carros del ferrocarril se debía a la alternabilidad de las tensiones en los ferrocarriles. En la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción con el tema de: Análisis del comportamiento a fatiga en flexión rotativa de un Acero AISI SAE 1018, realizado por; Reina Isabel Paguay Alvarado, en Ambientes Corrosivos, determina evaluar el comportamiento mecánico del acero a través de ensayos donde se encontró con un 50 % de rotura a 262 MPa.

En la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería realiza una tesis Juan Carlos Páez Moscoso, Obtención de compuestos de Polipropileno Reforzado con Fibras de Abacá lo que afirma que el moldeo por compresión permitió obtener materiales compuestos utilizando como matriz polipropileno y como refuerzo fibras de abacá.

Centro de Estudios de Posgrado Maestría en Diseño Mecánico de la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica el Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg realiza un Estudio del comportamiento a fatiga mecánica del teflón y nylon para determinar la relación esfuerzo- número de ciclos bajo la aplicación de cargas variables y su influencia en el diseño de máquinas, determinó que el nylon se puede utilizar como elementos de máquinas mientras que el teflón no se puede utilizar como elementos de máquinas (por los valores de su esfuerzo son muy bajos).

2.1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.2.1 Fatiga de los metales

El fenómeno de la fatiga de los materiales es uno de los más estudiados en la ingeniería mecánica. Se ha escrito mucho acerca de este tópico. La fatiga, es la causa del ochenta por ciento de las fallas en maquinarias; los elementos mecánicos trabajan, en su mayoría, bajo condiciones de fatiga, como ejemplo pueden citarse: los peldaños de una escalera metálica, las estructuras de los parques donde ejercitan los deportistas, los aparatos de un parque infantil, los ejes de diversas máquinas industriales: moledoras, trituradoras, elevadoras, los aviones, los automóviles, los sistemas de izado de carga en los puertos, entre otros. El fenómeno de la fatiga: condiciones para que ocurra, mecanismo de falla, tipos de fatiga según la pieza esté a flexión, bajo la acción de cargas axiales, bajo corte en su forma directa o torsional.

La falla por fatiga.- La falla por fatiga requiere, básicamente, que se conjuguen dos factores a saber: la aplicación de cargas repetidas o cíclicas, esto quiere decir que su valor cambia en el tiempo. La excepción a esta condición está en el hecho

que, si el componente está trabajando en un ambiente corrosivo, la falla por fatiga se produce bajo condiciones estáticas.

En la realidad, todas las cargas que actúan sobre un determinado sistema mecánico varían con el tiempo, lo que sucede es que su frecuencia de repetición es tan baja que se pueden considerar como estáticas. Aunque esta dilatación-contracción causada por cambios de temperatura se produce cada vez que hay incremento de la misma, su frecuencia no es de magnitud suficiente como para considerarse una acción cíclica por lo tanto, no conduce a la falla por fatiga. No sucede lo mismo en centrales de vapor y otros sistemas en los cuales los cambios de temperatura son bruscos y de alta repetibilidad. En estos casos, se emplean unos dispositivos llamados juntas de dilatación (en algunos pisos de viviendas existen también tales juntas) que absorben las deformaciones térmicas que a su vez generan tensiones que serán tensiones cíclicas.”[1]

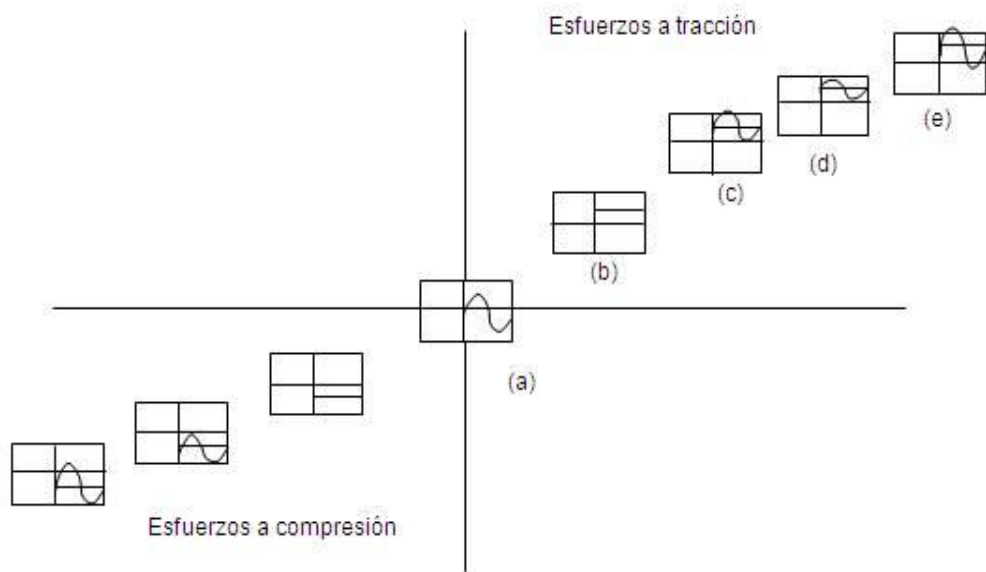


Figura 2-1 Tipos de esfuerzos cíclicos

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (2000). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 20

¹ Ficha técnica NFT01. (2000). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad. Editorial Iberisa. Pág. 19,20.

A) Etapa de la fractura

El crecimiento de la grieta, va disminuyendo de modo proporcional el área resistente de la pieza hasta que llega un momento en que esa sección es muy pequeña y no resiste la acción de las cargas que generan, como consecuencia de la reducción progresiva del área, tensiones cada vez mayores hasta que la pieza rompe. Un ejemplo de rotura por fatiga.

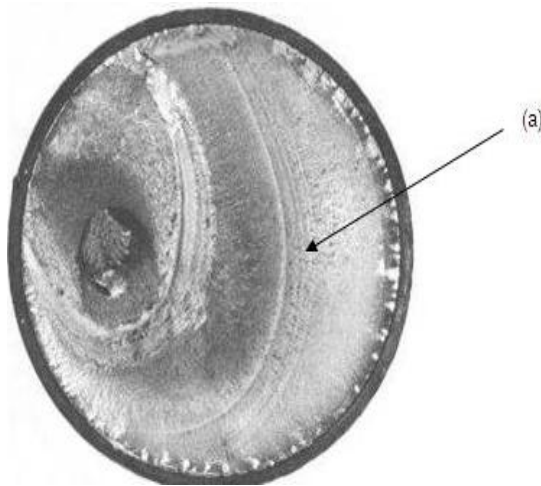


Figura 2-2 Fallo por fatiga por flexión rotativa

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 22

Nótese las marcas de las bandas de deslizamiento generadas por la acción de las cargas cíclicas; estas marcas suelen recibir el nombre de "marcas de playa". Es necesario acotar que, durante el proceso de crecimiento de la grieta, la componente de las tensiones alternas que causa el crecimiento de la misma es la componente a tracción; la componente a compresión lo que hace es cerrar a la grieta y por lo tanto, no estimula su crecimiento.

Dependiendo de la forma como actúen las tensiones alternantes sobre un determinado componente mecánico, la falla por fatiga puede darse en las siguientes formas., esfuerzos pulsantes tensión- tensión o bien esfuerzos tensión-compresión:

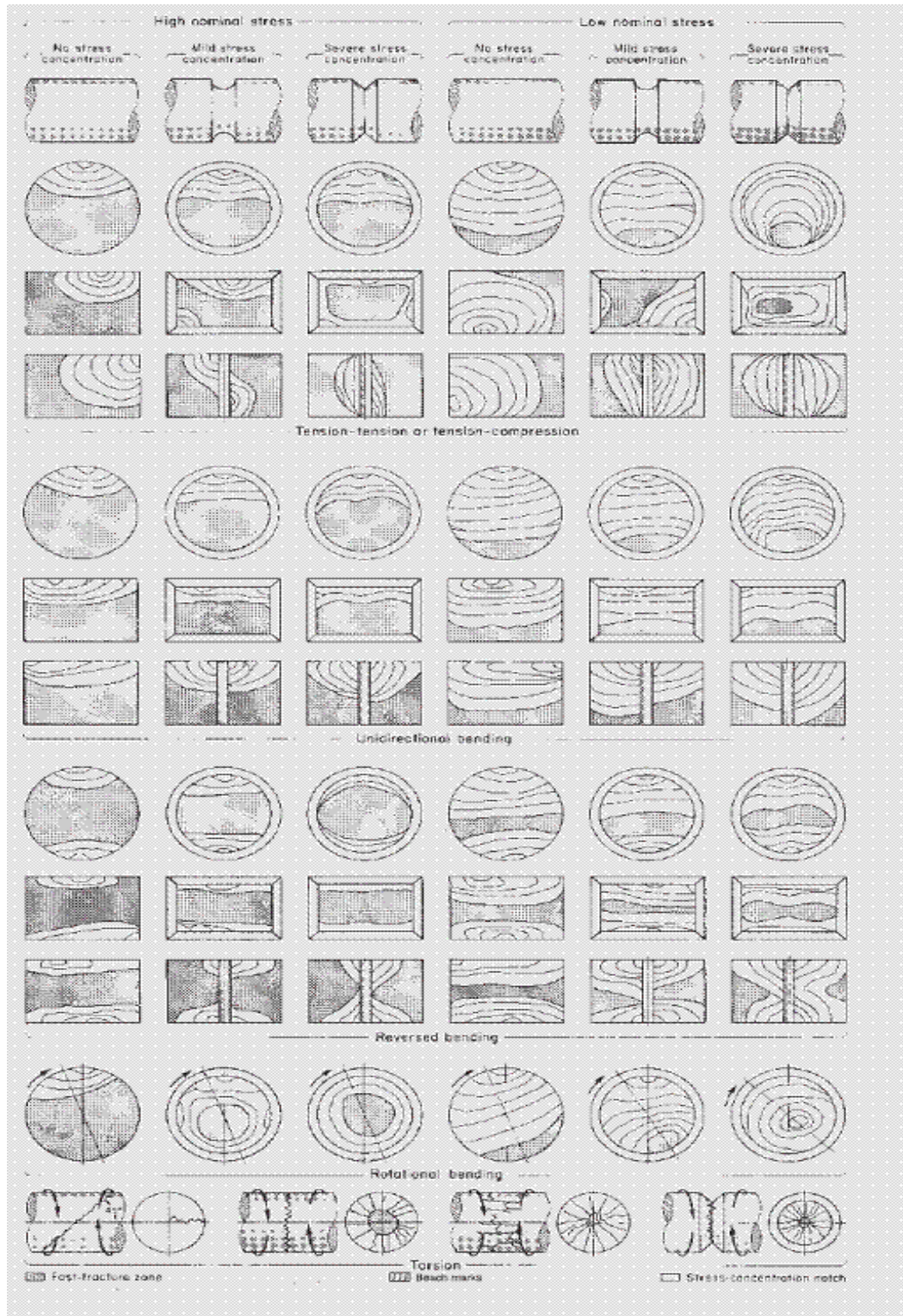


Figura 2-3 Esfuerzos pulsantes tensión-tensión

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 22

En esta figura están representados los planos de fractura por fatiga para condiciones de alto y bajo ciclaje. Nótese cómo la geometría de la pieza influye notablemente en la rotura por fatiga; esto se debe al efecto concentrador de tensiones. También se observa cómo las marcas de playa aparecen en menor número para un alto nivel de amplitud de tensiones mientras que se da el caso contrario cuando dicho nivel es bajo, esto conduce a una conclusión importante de la cual se tratará más adelante en el presente trabajo.

B) Modelos analíticos para el estudio de la fatiga

Se han propuesto varios modelos para el estudio del comportamiento a fatiga de las piezas mecánicas que trabajan bajo esta condición:

- Modelo vida – esfuerzo.
- Modelo vida- deformación.
- Modelo de Castillo.
- Modelo de Ripoll.

C) Modelo vida-esfuerzo

Es el más utilizado, este modelo fue usado por August Wöhler. La curva obtenida se llama curva S-N o curva de Wöhler. El exponente negativo indica la relación inversa entre la amplitud de tensiones y el número de ciclos de variación de tensión.” [2]

² Ficha técnica NFT01. (2000). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad. Editorial Iberisa. Pág. 20-28.

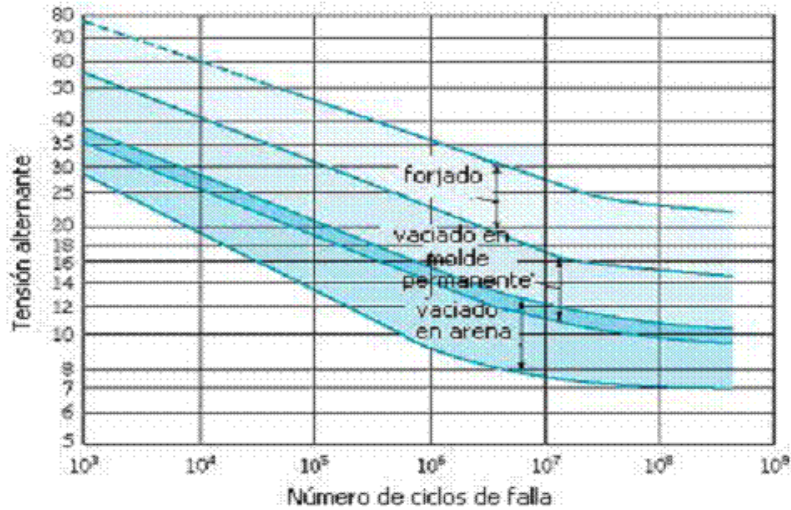
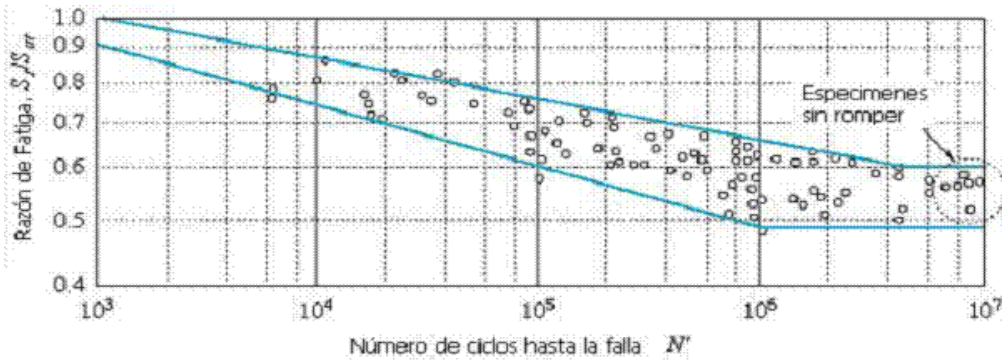


Figura 2-4 La representación de las curvas S-N

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 22

En esta figura se observa cómo está el campo de tensiones contra ciclos de alternabilidad hasta la falla; se observa la escala de tensiones, se expresa de dos maneras: como una relación entre el esfuerzo de falla y resistencia a la tracción (S_{ut}) o también con los valores nominales de esfuerzo. La curva de la parte superior representa el comportamiento a fatiga para metales ferrosos. Esta zona a partir del 1000000 de ciclos, se le conoce como zona de vida infinita, que es la zona del diagrama S-N para metales ferrosos. Cabe aclarar que los metales no ferrosos no se encuentran en zona de vida infinita, estos se encuentran bajo la curva de vida finita.

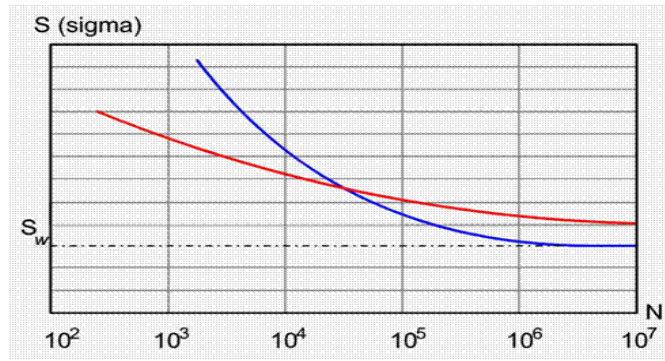


Figura 2-5 Curvas S-N de vida finita

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 25

El gráfico anterior muestra la relación existente entre el esfuerzo respecto al número de ciclos para materiales de latón y aluminio.

D) Modelo vida-deformación

En este modelo se observa el comportamiento asintótico del espécimen a fatiga. Analíticamente se encuentra expresada por la ecuación de Mason Coffin- Morrow.

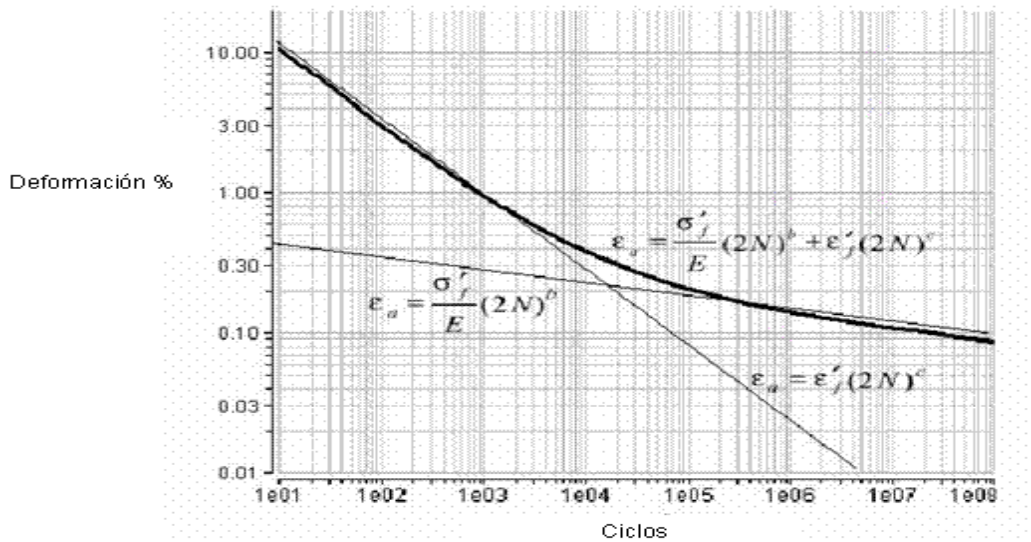


Figura 2-6 Modelo vida vs deformación

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 25

E) Modelo de Castillo

Trata con la simulación del ensayo de fatiga mediante métodos informáticos. El propósito de este modelo es predecir de modo probabilístico el comportamiento a fatiga de diversos materiales, esto incluye a aquellos materiales que no poseen límite de fatiga establecida.

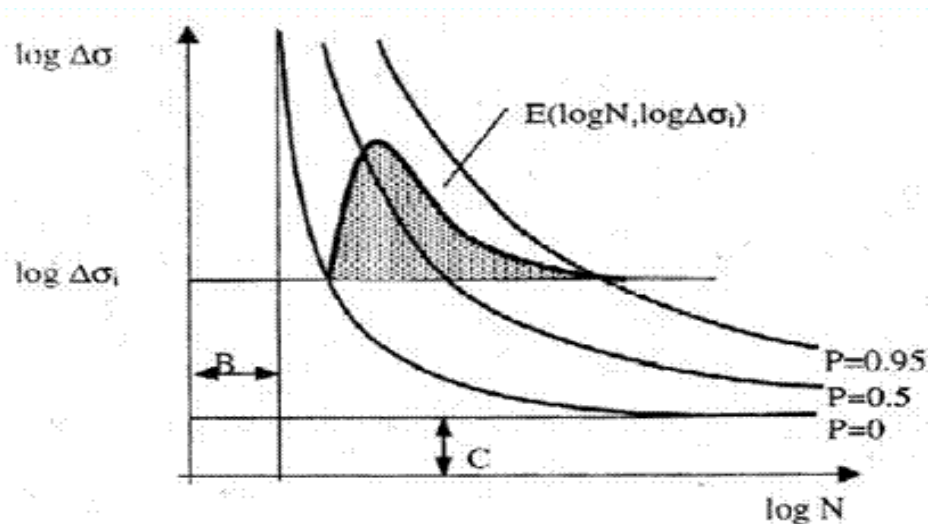


Figura 2-7 Modelo de Castillo

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 25

G) Los ensayos de fatiga

Existen varios métodos de ensayos para determinar la vida a fatiga de un material, el más empleado es el de viga rotatoria utilizado para determinar la relación S-N, este puede ser realizado según los parámetros establecidos por la máquina de Moor o la de tipo viga en voladizo como se muestra en la figura 2.8, 2.9. En el mercado existen variantes de dichas máquinas, las mismas que están controladas por software estas tienen la ventaja para la obtención de datos precisos y son controlados mediante computadoras, en las siguientes figuras se muestran los distintos tipos de máquinas como los elaborados por la casa INSTRON.



Figura 2-8 Máquina Moor y de tipo voladizo

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (2000). Máquinas para análisis de fatiga-
durabilidad Pág. 25

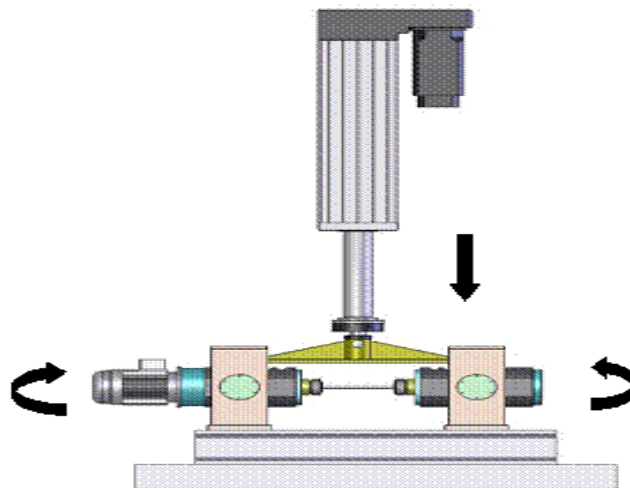


Figura 2-9 Máquina Brandolismo

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (2000). Máquinas para análisis de fatiga-
durabilidad Pág. 25

En la figura 2-9 se observa que la flexión es producida por un cilindro hidráulico que es controlado según los distintos esfuerzos requeridos a diferencia del modelo de Moor que se muestra en la figura 2-8 en el cual la flexión se da mediante unas pesas las mismas que son variadas según los esfuerzos requeridos.

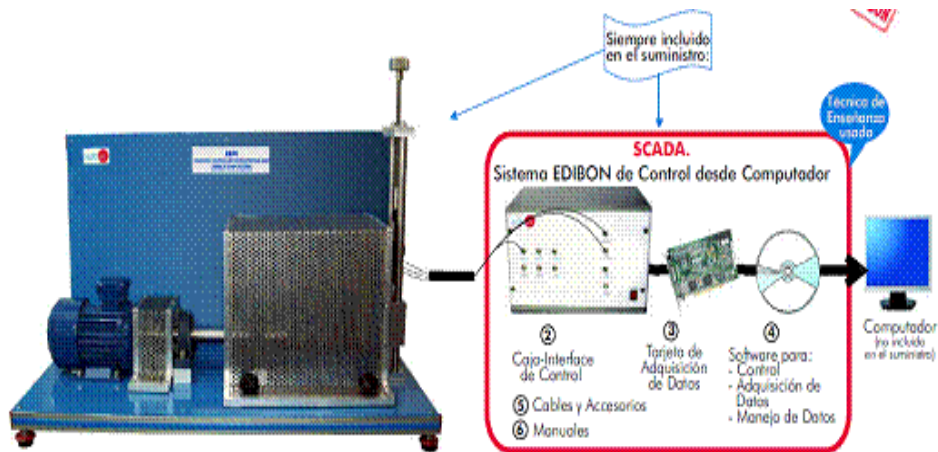


Figura 2-10 Máquina de fatiga por flexión rotativa

Fuente: Ficha Técnica N° FT01, Grupo Iberisa (200). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad Pág. 25

2.1.2.2 Ensayo de fatiga por flexión rotatoria

En sus muchas aplicaciones, cables suelen ser sometidos a diversas cargas alternantes. La determinación de la resistencia a la fatiga se puede realizar de modo fácil y rápido con un ensayo de fatiga por flexión rotatoria. Durante este ensayo, la probeta se somete a rotación con un número elevado de revoluciones (hasta 6000 rpm) y además a una fuerza perpendicular al eje rotatorio. Esta flexión produce junto con la rotación a una carga alternante de tracción-compresión en la superficie de la probeta. La cuidadosa preparación de la probeta y en especial de una superficie impecable son para estos ensayos de importancia primordial.

2.1.2.3 Relación módulo de elasticidad vs temperatura

“En comportamiento de las fibras naturales un factor muy importante a tomar en cuenta es la influencia de la temperatura sobre el módulo de elasticidad, para ello tenemos la siguiente gráfica.” [3]

³ AP.T13.1-MPyC. (2002). Tensiones deformaciones fibras compuestas. Editorial Iberisa. Pág. 24,25.

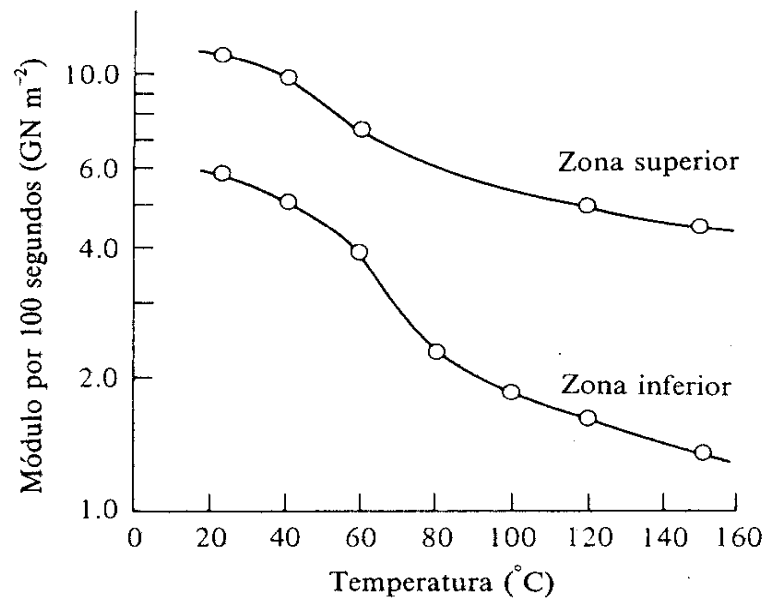


Figura 2-11 Variación con la temperatura del módulo de elasticidad

Fuente: Tomada de AP.T13.1-MPyC. (2002) Tensiones deformaciones fibra compuestos Pág. 25

2.1.2.4 Esfuerzo aplicado

La probeta establecida para el ensayo de fatiga mecánica por flexión que es cargada como viga en cantiléver, genera fuerza cortante (F) y momento flector como se muestra en la Figura 2.13.

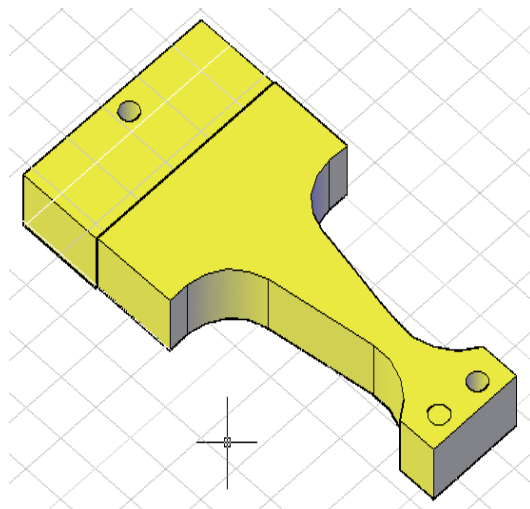


Figura 2-12 Probeta

Fuente: El Autor

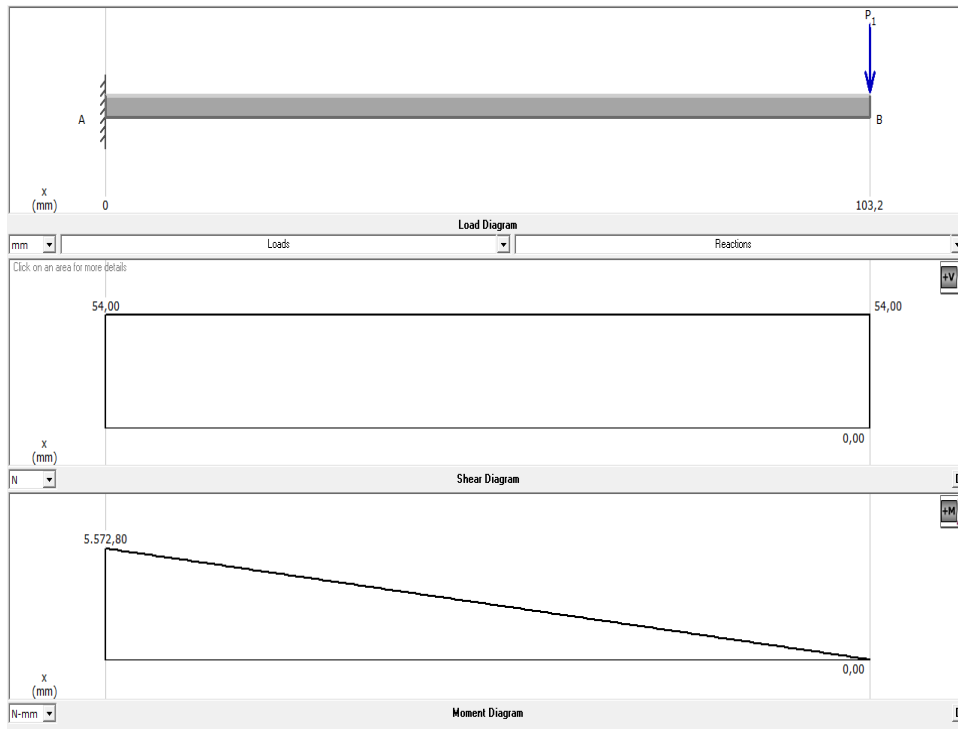


Figura 2-13 Viga en flexión

Fuente: El Autor

$$\sigma_x = \frac{M_C}{I} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$c = \frac{t}{2} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

σ_x =Esfuerzo Normal.

M_c = Momento flector.

c =Distancia desde el eje neutro hasta las fibras extremas de las vigas.

I =Momento de inercia.

t = Espesor de la probeta.

Para nuestro caso la inercia es de una sección rectangular:

$$I = \frac{bt^3}{12}$$

Ecuación 2.3

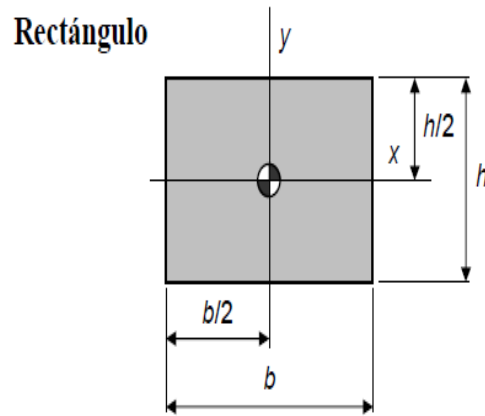


Figura 2-14 Inercia de un rectángulo

Fuente: Shigley. (2002). Diseño de elementos de máquinas

Remplazando en la ecuación 2.1 tenemos que el esfuerzo normal está dado por la siguiente fórmula:

$$\sigma_x = \frac{6M}{bt^2}$$

Ecuación 2.4

Esfuerzo tangencial:

$$\zeta_{xy} = \frac{VQ}{bI}$$

Ecuación 2.5

Dónde:

ζ_{xy} =Esfuerzo Tangencial.

V=Fuerza cortante.

Q= Momento estático.

b= Ancho de la sección.

2.1.2.5 Deflexión ^[4]

La viga en cantiléver como se muestra en figura 2.13 genera momento flector que viene dado por la siguiente fórmula por parte de Shigley En voladizo: carga en extremo, cortante, momento y deflexión de vigas como se muestra en el gráfico:

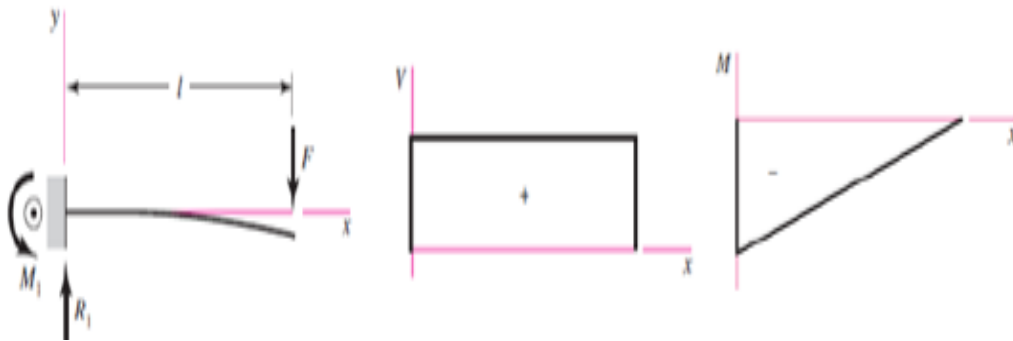


Figura 2-15 Viga en voladizo, carga extrema

Fuente: Shigley, E, & Charles, R. (2008).Diseño en ingeniería mecánica

En el gráfico anterior se puede calcular el momento M_1 y el momento M en función de x :

$$R_1 = V = P$$

$$M_1 = P * l \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$M = P(x - l) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

La deflexión máxima para este tipo de viga es:

$$Y_{max} = -\frac{Ft^3}{3EI} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

⁴ Shigley E. Charles R. (2008). Diseño en ingeniería mecánica. Editorial: Mcgraw-hill. Octava edición Pág. 55.

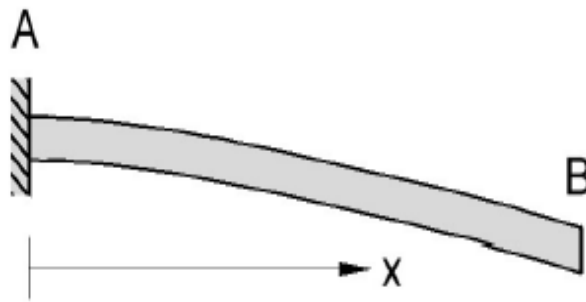


Figura 2-16 Viga en deflexión empotrada en un extremo

Fuente: Tomado de pdf Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería

La figura anterior representa una viga empotrada en un extremo, la misma que se encuentra aplicada una fuerza en el otro extremo, de la cual se requiere calcular la deflexión en el punto X, para ello se tomaron las principales fórmulas del estudio realizado por el Ing. Jorge Guamanquispe, Mg, estas fórmulas se tomaron debido a que en aquel estudio utiliza una viga en cantiléver igual al presente estudio, dichas ecuaciones son; “2-8, 4-8, 4-9, 4-11, 4-12, siendo para nuestro caso las siguientes ecuaciones:

La deflexión en cualquier punto de la viga es:

$$Y = \frac{P(x - L)^3}{6EI} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

La siguiente ecuación sirve para determinar la deflexión de la viga mediante las condiciones de frontera.

$$Y_2 = \frac{1}{E * I_2} * \left(-P * \frac{L^3}{3} + C_3 * L + C_4 \right) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$C_3 = P \left(\frac{L_1^2}{2} - L * L_1 \right) * \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$C_4 = P \left(\frac{L_1^3}{6} - \frac{L * L_1^2}{2} \right) * \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) - C_3 * L_1 \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Dónde:

Y_2 = deformación al aplicar la carga.

C_3 y C_4 = Condiciones de frontera.

Por último tenemos una ecuación para determinar la fuerza que se aplicó a la probeta, ya que en la máquina que se analizará más adelante para el ensayo lo que se puede regular es la deflexión por lo tanto se tiene: »^[5]

$$P = \frac{3 * (C_3 * L + C_4 - Y_2 * E * I_2)}{L^3} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

2.1.2.6 Ensayo a fatiga mecánica de los polímeros ^[6]

La norma DIN 53442 establece el procedimiento para el desarrollo de dicho ensayo, cuyo principio se basa según indica la figura 2-12 Las probetas utilizadas son planas de espesor constante entre 2 y 8 mm, la sección reducida es la sección donde se espera que la probeta falle. Es necesario monitorear la temperatura durante todo el ensayo, el número de ciclos es determinado para posteriormente graficar la curva S – N. El comportamiento a fatiga mecánica de los polímeros en ciclos bajos se considera hasta N=104 ciclos a una frecuencia $f=1-3$ Hz, y a fatiga por flexión $f=30$ Hz según la ASTM D 671 estas pruebas son realizadas con una relación de esfuerzos de $R=0,1$, excepto para fatiga por flexión en donde $f=30$ Hz y $R=-1$.

El ensayo estándar de fatiga de los plásticos en flexión. Se realiza según se especifica en el "Manual on Fatigue Testing", ASTM STP 91-A y "Mechanical Testing of Materials", A.J. Fenner, Philosophical Library, Inc. ASTM D 671.

⁵ Guamanquispe J. (2012). Tesis Magister en Diseño Mecánico. Estudio del comportamiento a fatiga mecánica del teflón y Nylon para determinar la relación esfuerzo-número de ciclos bajo la aplicación de cargas variables y su influencia en el diseño de máquinas. Universidad Técnica de Ambato. Págs. 38, 65, 66, 67, 68.

⁶ Hanser Verlag Polymer testing

2.1.2.7 Materiales compuestos de matriz termoestable

A) Matriz termoestable y sus propiedades

En general los materiales poliméricos son compuestos orgánicos de gran peso molecular que son producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos de base. Al extender significativamente peso molecular agranda los patrimonios mecánicas tales como, tensión, tracción y tenacidad mejoran.

La unidad estructural de repetición es la misma composición que la estructura monómera de partida, a diferencia de estos polímeros de concentración se forman partiendo de monómeros poli funcionales a través de diversas reacciones con la posible exclusión de alguna pequeña moléculas que es el caso del poliéster.

Tabla 2-1 Característica estructural de los polímeros de condensación

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poliamida	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Policarbonato	PC	$-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
Poli(etilen terftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poliuretano	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de Fenol-formaldehído		$-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})(\text{CH}_2)-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})(\text{CH}_2)-$

Fuente: Beltrán M. Marcilla A. Tecnología de polímeros

Por sus características las macromoléculas se logran unir entre sí por fibras de diversa intensidad, cuando estas fuerzas son de baja intensidad podrán ser superadas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Existen

materiales termo estables que no se deforman con el calor es decir al aumentar la temperatura no forman material blando, en cambio los termoplásticos tienen la propiedad que al aumentar la temperatura se vuelve blando y flexible.

Debido a su estructura entrecruzada los termoestables, no instauran y son incomprensibles, debido a que las uniones entre cadenas se crean por reacciones químicas de reticulación, Las tensiones de contracción generadas durante el proceso de polimerización, que es una reacción exotérmica, y las tensiones térmicas provocadas por las diferencias entre el coeficiente de expansión de la matriz y el refuerzo, pueden afectar a las microtensiones propias de los materiales compuestos. Debido a sus factores críticos en las prestaciones de todas las matrices poliméricas es la máxima temperatura a la que pueden ser utilizadas en condiciones de servicio y la que deben soportar.

Tabla 2-2 Clasificación de resinas termoestables

BAJAS TEMPERATURAS	Poliéster:	Isoftálica Ortoftálica
MEDIAS TEMPERATURAS	Viniléster, Epoxi	
MEDIAS-ALTAS TEMPERATURAS	Fenólica	
ALTAS TEMPERATURAS	Bismaleimida, Poliimida Esteres cianato, Polieteramida	

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

A las resinas termoestables tienen características isotrópicas, pero pierden sus propiedades de rigidez al elevar la temperatura de distorsión térmica, que detalla un límite superior efectivo para su uso en componentes estructurales.”[7]

⁷ M.M, P.P. (1996). Fundamentos de ciencia de polímeros. Technomic.

Tabla 2-3 Características de las matrices termoestables

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliimida
Densidad (g/cm ³)	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento (%)	< 3	6-8	< 3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T _{amb} hasta 180	T _{amb} hasta 170	150-190	T _{amb} hasta 175	≅ 350

Temperatura de Reblandecimiento	80 - 160	80 - 130	100 - 150	100 - 150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				
Contracción de fraguado (%)	6 - 10	1 - 3	0,5 - 1,5	0,1 - 1	0,5 - 0,7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
Resiste a:	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, bencol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, bencol, aceites y grasas	37% HCl, ClO ₂ , agua salina, alquitranes	-
No resiste a:	Agua hirviendo, ácidos y lejías, bencol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas.	Ácidos y bases concentradas	H ₂ SO ₄ al 75%, NaCl al 6%, NaOH al 15%, agua hirviendo	-
Inflamabilidad	No auto extingible	Difícilmente inflamable	Difícilmente inflamable	No auto extingible	-

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

2.1.2.8 Refuerzo de compuesto con fibras ^[8]

Se dió a conocer en la parte introductoria de este estudio, en los posibles refuerzos que pueden tener los materiales compuestos (partículas, fibras y laminados). La utilización de fibras ya sea de cabuya, vidrio, carbono u otros como refuerzo permite conseguir una excelente resistencia a la fatiga, con lo cual se tiene una mejor relación resistencia respecto al peso. La selección apropiada del tipo de fibra a utilizar, la cantidad y la orientación de la fibra es muy importante a la hora de fabricar una pieza en material compuesto ya que esto tiene una directa relación con material de la matriz la misma que comunica varias fuerza hacia las fibras, estas resisten la mayor parte de la fuerza ejecutada. En su presentación o disposición, las fibras vienen dadas por fibras cortas, largas, tejidos y otros, que son las indicadas de otorgar propiedades mecánicas importantes hacia el material así también la dominante resistencia a la tracción específica y dominante módulo de elasticidad de la pieza fabricada.

Con el material compuesto se logra tener ciertas características únicas como: ligereza, resistencia térmica, compatibilidad con las resinas a esfuerzos, dureza, rigidez y adaptabilidad al proceso de fabricación es decir permiten un fácil maquinado.

A) Longitud y diámetro de las fibras

En su longitud las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas, para esto se ha definido la relación forma l/d , donde l es la longitud de la fibra y d su diámetro. Las fibras comunes o típicas tienen diámetros que van desde 10 micrones (10×10^{-4} cm) hasta 150 micrones (150×10^{-4} cm), Al obtener una relación de forma grande la resistencia del compuesto es mejor , debido a que a menudo las fibras se fracturan por sus defectos en la superficie. Cuando un diámetro es demasiado pequeño, le da a la fibra menos área superficial, en consecuencia, hay menos defectos que pueden propagarse durante el proceso o bajo carga. La preferencia de

⁸ Moya, J. & Otros. Materiales para engranajes plásticos, características y propiedades. Editorial. Xalapa de la Universidad Veracruzana

obtener o trabajar con fibras largas, viabiliza a que los extremos de una fibra soporten menos carga que el resto; por lo tanto, a menos extremo, mayor capacidad de las fibras de soportar carga.

B) Cantidad de fibras^[9]

La fracción superior de volumen de fibras elevara la resistencia rigidez del compuesto, a fin de que lo indica la medida de las mezclas. Pero también la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente entre un valor del 70%, más allá de este aumento las fibras ya no quedan totalmente contenidas por la matriz.

C) Predominio de la disposición de las fibras y la concentración

En su orientación las fibras, su cuantía, distribución tienen una influencia explicativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades mecánicas de los materiales compuestos. En cambio en la alineación de la fibra, básicamente existen dos posibilidades: alineación en la dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas) y alineación totalmente al azar.

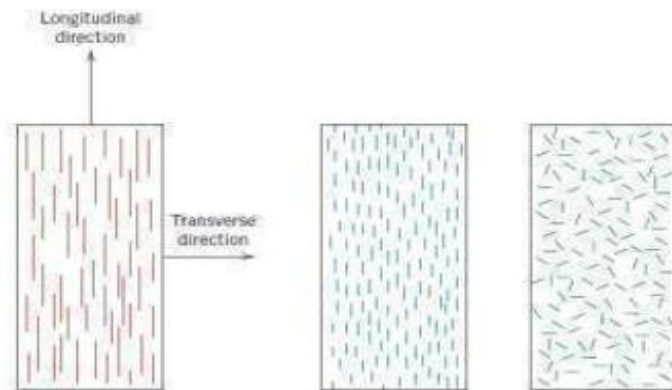


Figura 2-17 Orientación de la fibra

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

⁹ Arrásate-Mondragón Guipúzcoa, Plásticos y Materiales Compuestos de Matriz Orgánica, 2006
Escuela Politécnica Superior, Mondragón Unibertsitatea
Link: http://www.aemac.org/pdf/reunion_Grupos/AEMAC_Mondragon-Univ.pdf

La organización de las fibras pueden ser en patrones tridimensionales, por lo que existen varias posibilidades en cuanto a la arquitectura de este tipo de refuerzos, pues pueden existir tejidos y no tejidos con diferente organización.

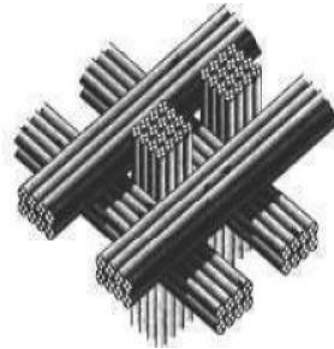


Figura 2-18 Orientación de la fibra continua y discontinua

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

Es importante la orientación de la fibra para las propiedades finales del material compuesto. Al trabajar con fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán principalmente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra. Como se muestra la influencia del ángulo (0 y 90°) sobre las constantes elásticas de un material compuesto.” [10]

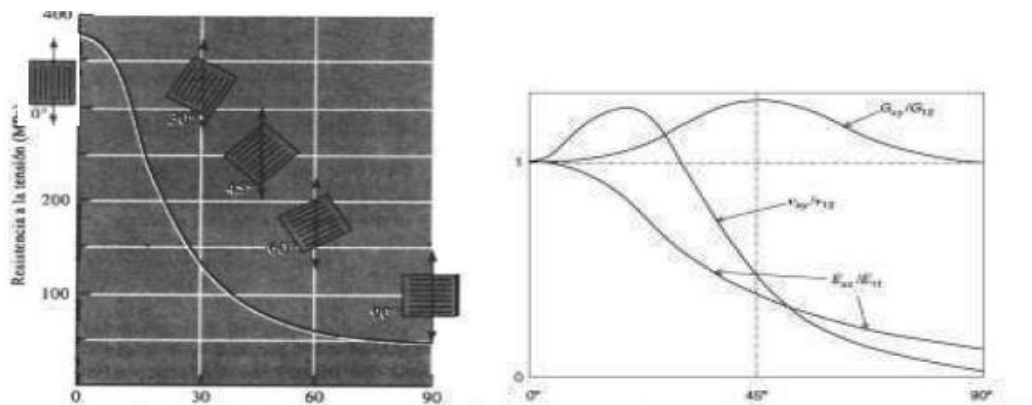


Figura 2-19 Efecto de orientación de la fibra, Variación a la tensión

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

¹⁰ J. Dávila, S. Gales. P. Pontón, N Rosas. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales. Edición. Primera.

2.1.2.9 Interfaz fibra matriz ^[11]

El combinado de la matriz polimérica, viene determinado también por el comportamiento de la interfaz o unión entre sus constituyentes (fibra – matriz). Las fibras deben estar unidas al material de la matriz, si la carga debe transferirse correctamente de la matriz a las fibras. Si la unión es pobre, las fibras pueden salirse de la matriz durante la aplicación de la carga, reduciendo la resistencia y la resistencia a la fractura del compuesto.

En la zona de unión donde sucede la discontinuidad, sea física, mecánica, química u otra, es conocida como INTERCARA, En esta zona la matriz debe “mojar” al refuerzo. Por ello, se suelen utilizar agentes de enlace o unión, de tal forma que mejore la mojabilidad y aumente la superficie de intercara.

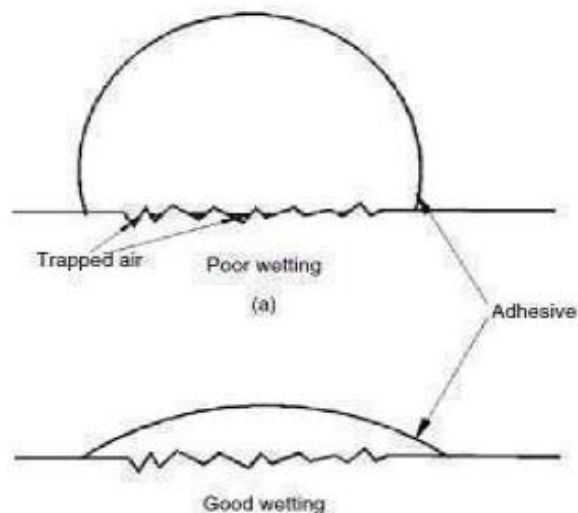


Figura 2-20 Humectación de la matriz

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

2.1.2.10 Estratificación manual

La técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable es la estratificación manual, también llamada hand lay-up.

¹¹ M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros. Pág. 25-33.

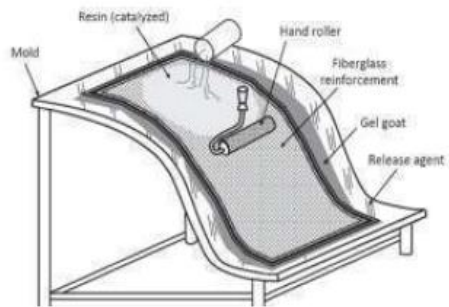


Figura 2-21 Esquema del proceso de producción por laminar manual

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

2.1.2.11 Estratificación de pre-impregnados ^[12]

La estratificación de pre-impregnado es una mixtura de fibras de refuerzo colocadas en distintas direcciones o en forma de tejido, las idénticas que son impregnadas con polímeros que puede ser termoplástico o termoestable, La habilidad para la obtención de preimpregnados permite tener un control preciso de la fracción volumétrica y la dispersión homogénea del polímero en la fibra. Los preimpregnados de matriz termoestable más comunes son los de resina epóxica con refuerzos sintéticos como: fibra de vidrio, carbono, aramidas, etc.

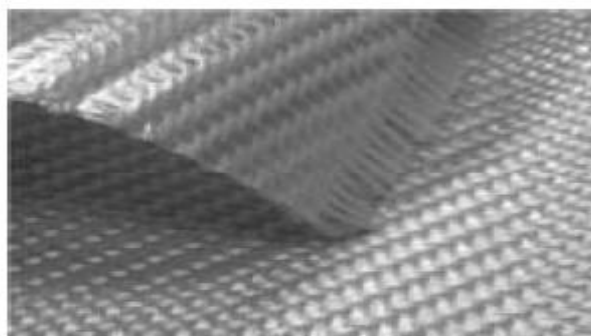


Figura 2-22 Preimpregnado

Fuente: Tomado de M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

¹² Rubén Tino Ramos, Jefe de sección de la unidad de carreteras de Zamora del Ministerio de Fomento. Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio. Cimbra Enero-Febrero-marzo 2010

2.1.2.12 Moldeo por aspiración

Proceso parecido al de estratificación manual e inclusive se utilizan moldes de similares características. La diferencia está en que se emplea una pistola de aspersión que deposita fibra corta y resina simultáneamente sobre la superficie del molde. No es necesaria la aplicación de calor, ni presión. El material polimérico más utilizado en esta técnica es la resina poliéster.

2.1.2.13 Moldeo por compresión

Este proceso también es conocido como el de estampado de placas metálicas; esta técnica de moldeo es utilizado tanto para materiales termoplásticos como para termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de preimpregnados en un molde que es posteriormente prensado.

En los materiales termoestables, las láminas son premezclas de matriz-refuerzo debidamente formuladas y la consolidación puede o no requerir de la aplicación de calor, dependiendo de la resina utilizada. El contenido máximo de fibra que se puede alcanzar es de 30 % [29]. El proceso para las matrices termoestables consiste en cortar las láminas de preimpregnado en la forma deseada y colocarlas en la mitad inferior del molde (hembra). Los moldes se precalientan (120 -170 °C) según lo requiera la formulación de la resina.

La mitad superior del molde (macho) se cierra rápidamente. Finalmente se cura el material, se libera la presión y la pieza es expulsada.

2.1.2.14 Fibras naturales ^[13]

Estos tipos de fibras son tejidos antiguos geotextiles modernos que existen en la naturaleza desde hace muchos años, son las principales 15 fibras naturales del

¹³ Morales Antigüedad, G. Madrid (2008). Tesis doctoral procesada y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 978-84-692-2929-3.

mundo, muchas de ellas fundamentales para la sociedad humana desde el alba de la civilización.



Figura 2-23 Fibra natural







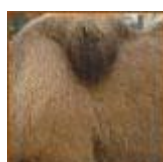
Fuente: Tomado de la presentación de Víctor Aníbal Gutiérrez Santos

Las fibras naturales son elementos muy alargadas o a su vez cortas, producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería. Las fibras naturales han sido parte fundamental de la vida humana desde los albores de la civilización. En países desarrollados se han encontrado vestigios de artículos de algodón de 5000 a C. Según la tradición china la historia de la seda se inicia en el siglo XVII a C. La fibra o tejido de lana más antiguo descubierto en Dinamarca consta desde el año 1500 a C., y el tapete de lana más antiguo de Siberia data del año 500 a C. Fibras como el yute y el bonote se cultivan desde la antigüedad. Casi todas las fibras naturales se emplean para la fabricación de vestido y contenedores, así como aislamiento, suavizar y decorar los ambientes donde vivimos. Sin embargo los textiles tradicionales se usan también cada vez más con propósitos industriales: como elementos de materiales compuestos en implantes médicos, geotextiles y agrotextiles.




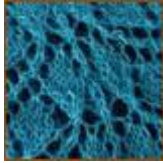

En la siguiente tabla se presentan los perfiles de 15 de las principales fibras de origen vegetal y animal iniciando desde el algodón que prevalece en la producción mundial de fibras, hasta otras algunas especiales como la cachemira que si bien se

produce en cantidades mucho más pequeñas tienen propiedades específicas que la sitúan en el mercado de los textiles de lujo.” [14]

Tabla 2-4 Fibras naturales de origen animal y vegetal

<p>Fibras vegetales</p> <p>Se encuentran al extraer de la vellosidad de algunas semillas, como el algodón; de los tallos o líber, como el lino y el cáñamo; fibras de follajes, como el sisal; y fibras de cáscaras, como las de coco.</p>	<p>Fibras animales</p> <p>Las fibras de origen animal se encuentran en la lana, pelo y secreciones, como la seda.</p>
 <p>Abacá - Fue un material muy utilizado para las jarcias de los buques. Hoy promete para suplantar a la fibra de vidrio.</p>	 <p>Lana de alpaca - Se utiliza para crear tejidos de lujo y la producción mundial se estima en torno a las 5000 toneladas al año.</p>
 <p>Algodón - Celulosa pura es la fibra natural más usada en el mundo y sigue siendo el que predomina indiscutiblemente en la industria mundial de los textiles.</p>	 <p>Lana de angora - La sedosa lana blanca del conejo de angora es muy fina y suave y se usa para géneros de punto de alta calidad.</p>
 <p>Bonote - El bonote es una fibra corta y burda que se obtienen al extraer de la cáscara del coco y se usa para fabricar sogas, colchones, cepillos, geotextiles y asientos para automóvil.</p>	 <p>Cachemira - Una textura excepcionalmente suave debido a la estructura de sus fibras, además posee grandes propiedades térmicas sin ser grueso.</p>
 <p>Cáñamo - Los adelantos</p>	 <p>Pelo de camello - La mejor</p>

¹⁴ H. Villasis, (2011). Tesis. Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación, EPN-Quito.

<p>recientes en la algodónización de la fibra de cáñamo podrían abrir las puertas hacia el mercado de la moda de alta calidad.</p>  <p>Lino - El lino una de las fibras vegetales más fuertes de la naturaleza también fue una de las primeras que en cultivarse, hilarse y tejerse para producir textiles.</p>  <p>Ramio - La fibra de ramio es blanca, con un lustre de seda y es una de las fibras naturales más fuertes, parecida al lino en su capacidad de absorción y su densidad.</p>  <p>Sisal - Demasiado burdo para el vestido y la tapicería, el sisal está sustituyendo al asbesto y la fibra de vidrio en muchos materiales compuestos.</p>	<p>fibra procede de los camellos bactrianos, con dos jorobas, de la Mongolia Interior y Mongolia, y el pelo del camello joven es el más fino y terso.</p>  <p>Lana - Una oferta limitada y sus características excepcionales han hecho de la lana la fibra textil principal.</p>  <p>Mohair - El mohair es blanco, muy fino y sedoso, famoso por su suavidad y aptitud para el teñido.</p>  <p>Seda - Creada en la antigua China, donde su uso se reservaba a la realeza.</p>
--	---

Fuente: Tomado de la presentación de Víctor Aníbal Gutiérrez Santos

2.1.2.15 Fibras naturales ^[15]

El mercado de los productos naturales ha establecido en las últimas décadas la aplicación de procedimientos amigables con el medio ambiente, lo que ha originado el incremento de las normas de calidad y la optimización de las prácticas de laboratorio. Por este motivo, hoy en día países productores como Colombia se interesan en investigar sobre el aprovechamiento integral, sostenible de sus recursos y la generación de valor agregado, para comercializar sus

¹⁵ Guerrero, J. Dávila, S. Gales. P. Pontón, N Rosas. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales. Edición. Primera.

productos con las características exigidas, principalmente por la Unión Europea y los Estados Unidos.

A) Definición y Características

Estos son materiales compuestos que una o más fases pueden ser de origen biológico. Los diferentes refuerzos pueden ser fibras naturales tales como el algodón, lino, el cáñamo o fibras procedentes del modernizado de la madera o del papel o incluso subproductos originarios de cultivos agrícolas. Las matrices pueden ser sustancias de origen renovable como los aceites vegetales o almidones.

Dichos dispositivos o compuestos pueden ser de dos tipos: Del tipo cohesión y los de refuerzo. Los de cohesión envuelven y unen los mecanismos de refuerzo manteniendo la rigidez y la posición de cada uno de éstos. Los refuerzos confieren unas propiedades físicas al conjunto tal que mejoran las propiedades de cohesión y rigidez. Así, ésta combinación de materiales le da al compuesto unas propiedades mecánicas notablemente superiores a las materias primas del que procede. Las fibras naturales cuentan con una serie de propiedades que las convierten en una excelente alternativa para ser utilizadas como refuerzo en materiales compuestos con matriz polimérica. Estas fibras se caracterizan por:

- Ser un recurso renovable y biodegradable, por lo tanto su impacto ambiental es bajo.
- Tener un costo considerablemente bajo comparado con otras fibras de ingeniería como el Kevlar o la fibra de vidrio.
- Tener bajo peso.
- Tienen buen desempeño como aislante térmico y acústico.
- Presentar alta resistencia a la tensión.

Tabla 2-5 Propiedades de fibras naturales

Propiedades físicas	Valor	Unidades	Norma
Peso específico	1.65 - 1.75	g/cm ³	UNE 53020 - 73
Contenido de vidrio	55 - 70	%	-----
Absorción de agua	0.4 - 1.0	%pes	UNE 53028 - 55
Coefficiente de dilatación lineal	15 - 17	1/ °C. 10 ⁶	UNE 53126.79
Propiedades Mecánicas	Valor	Unidades	Norma
Dureza Barcol	50 - 55	-----	-----
Resistencia al impacto	150	daN cm/cm ²	UNE 53021 - 81
Resistencia a la flexión longitudinal	300 - 500	MPa	UNE 53066 - 76
Resistencia a la tracción	400 - 650	MPa	UNE 53023 - 86
Resistencia a la compresión	150 - 300	MPa	UNE 53024 - 86
Modulo de Elasticidad (E)	15000 - 32000	MPa	UNE 53022 - 76
Propiedades Eléctricas	Valor	Unidades	Norma
Constante dieléctrica a 50 Hz	4 - 6	-----	UNE 53189 - 75
Rigidez dieléctrica	3 - 7	KV/mm	UNE 53030 - 55
Factor de Pérdida a 50 Hz	0.03 - 0.04	Tg delta	UNE 53189 - 75
Resistencia al aislamiento superior	10 ¹⁰ /10 ¹³	Ω	UNE 53031 - 74
Tipo aislamiento	F / H	-----	-----
Propiedades Térmicas	Valor	Unidades	Norma
Conductividad térmica	0.2 - 0.3	Kcal/mH°C	UNE 53037-76
Resistencia a la temperatura	-65 / +180	°C	-----

Fuente: Tomado de la presentación de Víctor Aníbal Gutiérrez Santos

Las fibras son distribuciones unidimensionales, de tipo larga y delgada. Se doblan con facilidad y su intención principal es la creación de tejidos. En el ambiente y con la única excepción de la seda, las fibras naturales tienen una longitud restringida su variación vienen dada desde 1 mm en el caso de los asbestos hasta los 350 mm de algunas clases de lanas y las llamamos fibras discontinuas. Las fibras naturales son aquellas fibras que se encuentran en la naturaleza en estado natural y que no exigen más que una ligera adecuación para ser hiladas y utilizadas como materia textil. En cuanto a su clasificación se procede hacer una subdivisión de acuerdo al reino natural del que proceden: animales, vegetales, mineral.

B) Características Físico-Químicas

Los materiales textiles pueden fabricarse a partir de fibras sueltas, hilos y filamentos tramados y tejidos. A pesar de la forma precisa del material elaborado

por las mejores máquinas a escala comercial, la naturaleza de la fibra por si sola determina la clase de colorante y el proceso de teñido que se le deba aplicar.

Las fibras naturales pueden ser divididas de la siguiente manera:

a) Celulosas: algodón, lino, yute, etc. Todas estas derivadas de fuentes vegetales y constituidas principalmente por celulosa, materia estructural de las plantas.

b) Proteicas: lana, seda y fibras de pelo de animales.

Se puede apreciar que en esta cadena cada grupo posicional, se va repitiendo cada dos unidades. En la estructuración cristalográfica de la celulosa, la distancia entre cada dos grupos aislados es de 10, distancia que influye sobre la afinidad de los colorantes capaces de teñir la celulosa. De la estructura química de la celulosa puede deducirse que es un compuesto hidrofílico, siendo estas características las sobresalientes para dictaminar el comportamiento de los colorantes directos sobre esta fibra.

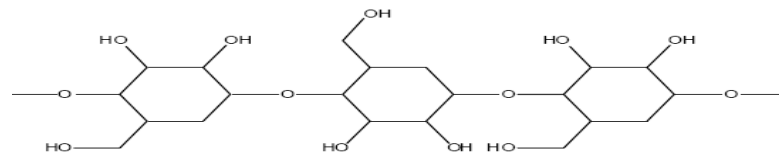


Figura 1.1 Cadena celobiósica de las fibras celulósicas

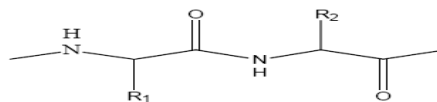


Figura 2-24 Cadena celobiósica, Cadena proteica

Fuente: Tomado de la presentación de Víctor Aníbal Gutiérrez Santos

C) Propiedades Mecánicas De Las Fibras Naturales

Todas las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, las mismas que determinan su utilidad al momento de emplearlas como refuerzo de matrices poliméricas. Estas características se encuentran relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden aportar al material (matriz), específicamente resistencia a esfuerzos de tracción, flexión, compresión e impacto. Es importante destacar que

cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán. En la Tabla 2.5 se señalan algunas de las ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzos.

Tabla 2-6 Ventajas y desventajas de fibras naturales como refuerzo

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Fuente: Tomado del documento de Materiales Nuevos, Ing. Guerrero (2011)

A pesar que actualmente las fibras artificiales son muy utilizadas en la industria por sus excelentes propiedades y la facilidad que presenta su fabricación, éstas han empezado a ser sustituidas por fibras vegetales, ya que estas últimas exhiben múltiples ventajas sobre las fibras sintéticas tradicionales, tal como se indica a continuación en la Tabla 2.6.

Tabla 2-7 Comparación entre fibras naturales y fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales "FN"	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: Tomado del documento de Materiales Nuevos, Ing. Guerrero (2011)

En la tabla anterior se pudo observar que las fibras naturales son, en todos los aspectos mencionados, superiores a las sintéticas, lo que se refleja en la actual tendencia del mercado de preferirlas e incluirlas para nuevas aplicaciones. En la Tabla 2.7 se comparan las propiedades mecánicas de algunas fibras vegetales y sintéticas.

Tabla 2-8 Comparación entre fibras naturales y sintéticas

Fibras	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de Humedad (%)
Vidrio - S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	---
Vidrio - E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 - 67	3,3 - 3,7	---
Carbón	1,4	4000	230 - 240	1,4 - 1,8	---
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 - 1,8	12
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 - 22,0	2,0 - 2,5	11
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Algodón	1,5	393 - 773	26,5	7 - 8	8 - 25

Fuente: Tomado del documento de Materiales Nuevos, Ing. Guerrero (2011)

2.1.2.16 Elaboración de materiales compuestos

A) Conformado por molde de compresión

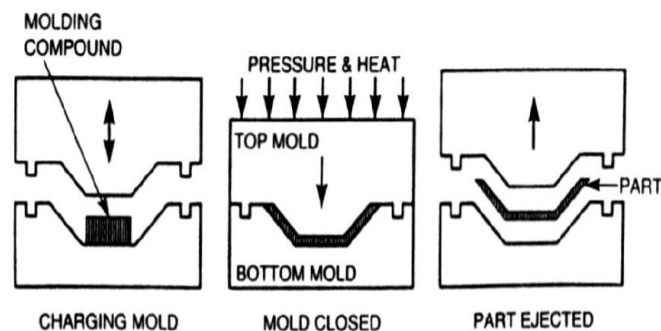


Figura 2-25 Conformado por molde compresión

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Velloza

B) Método de moldeo por transferencia de resina (RTM)

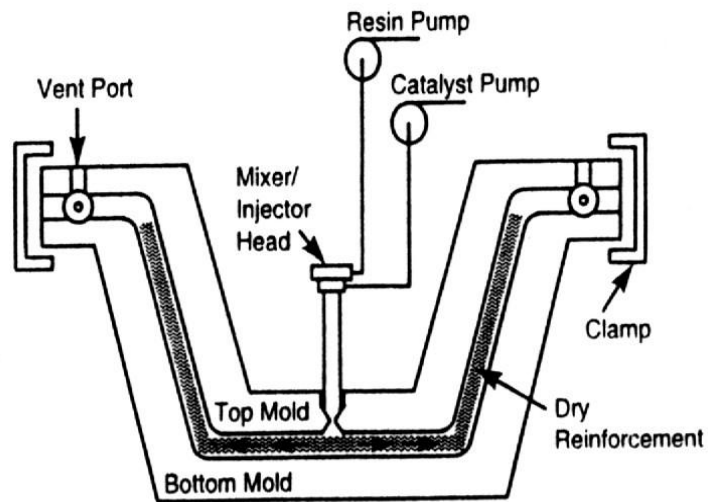


Figura 2-26 Conformado de molde por transferencia de resina

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

C) Proceso de bobinados de filamentos

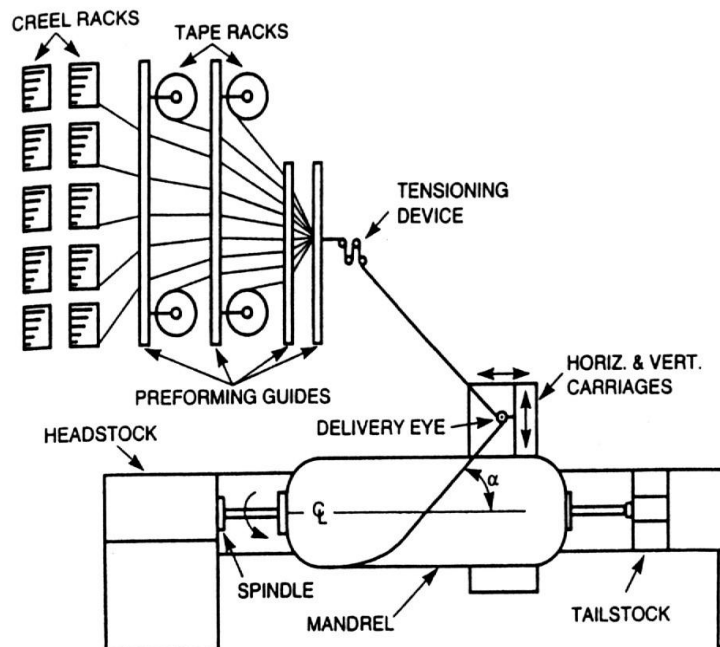


Figura 2-27 Conformado de molde bobinados de filamento

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

D) Proceso continuo de pultrusión

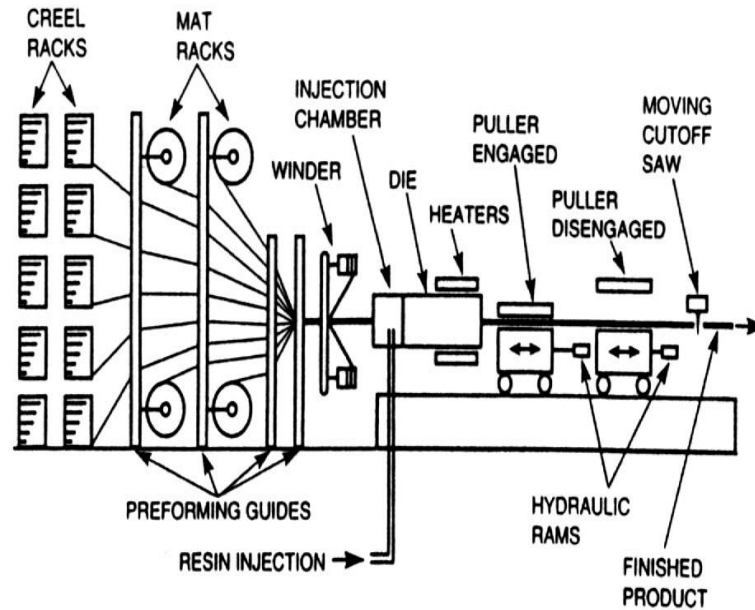


Figura 2-28 Conformado de molde proceso continuo de pultrusión

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

E) Proceso de moldeado laminar de compuestos (SMC)

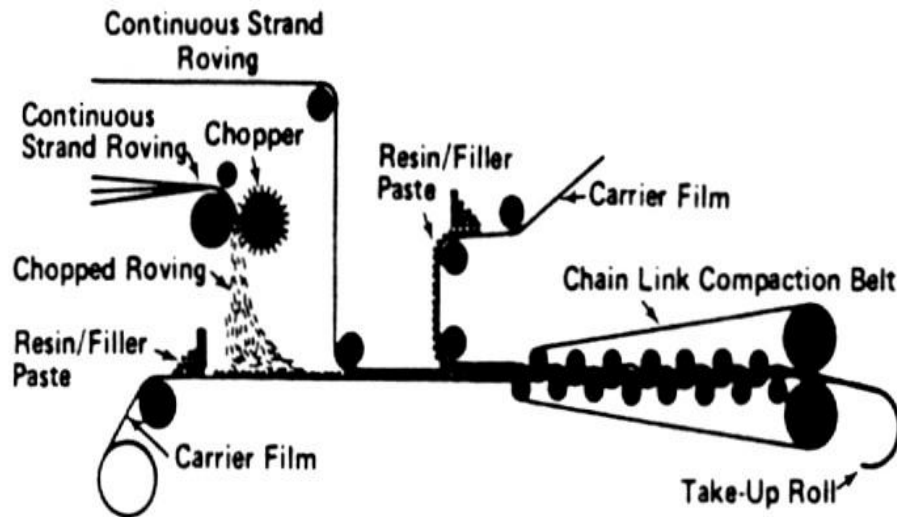


Figura 2-29 Conformado de molde laminado de compuesto

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

2.1.2.17 Fibra de cabuya ^[16]

La cabuya tiene su origen en la América Tropical, sobre todo en las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, donde predominan condiciones tropicales durante casi todo el año. En Colombia la cabuya se encuentra en la parte alta de la sierra templada y fría. En sus orígenes la cabuya crecía casi de manera espontánea y los habitantes de estas regiones la desfibraban para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas para sus labores domésticas.

En la década de los años 50 en Colombia el gobierno inició a través de programas agrarios, fomento el cultivo de la cabuya de manera tecnificada. Indistintamente se colocaron algunas empresas para el complot de la fibra. Al presente las regiones donde más se cultiva la cabuya por razones climáticas y culturales son los Departamentos del Cauca, Nariño, Santander y Antioquia.



Figura 2-30 Fibra de cabuya

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

2.1.2.18 Desarrollo del proceso de hilado de la cabuya

En el proceso industrial de hilatura de la cabuya, acontecen varios subprocesos que transforman la materia prima en bruto en el producto final que es el cordel de un calibre determinado.

¹⁶ Guerrero, J. Dávila, S. Gales. P. Pontón, N Rosas. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales. Edición. Primera. Pág. 65.

El proceso de manufactura del cordel básicamente comprende dos partes, en la primera la materia prima se transforma en hilo de un calibre determinado, en la segunda parte dicho hilo se retuerce de acuerdo a la cantidad de hilos y al calibre determinado. Para finalmente "enconarlo" en la presentación que se quiera; el proceso de hilado, es tal vez el más importante. Aquí es donde la cinta que ha sido preparada con tal cuidado se retuerce aprox. a 1.800 r.p.m. en sentido levógiro como las manecillas del reloj. La máquina hiladora consta de 12 puestos que van con sus respectivas campanas de aluminio que van retorciendo y enrollando el hilo en carretes metálicos. Es importante asegurar una velocidad de retorcido igual, incluso cuando la máquina debe detenerse por la rotura de alguna cinta o por alguna situación mecánica, cosa que sucede a menudo. Dentro de la maquinaria involucrada en el proceso de la manufactura del cordel reviste vital importancia el mantenimiento preventivo a todas las máquinas, en especial a las hiladoras, dado que al ser el punto más neurálgico del proceso, una salida de funcionamiento de la máquina representa la parálisis de la línea.

En el siguiente paso se "peluquea" el cordel una vez retorcido, para ello se usa una máquina tundidora, que sencillamente corta los pelos del cordel. Para ello el cordel se pasa por el filo de una cuchilla longitudinal y se hace girar así mismo, mientras un grupo de cuchillas de acero a gran velocidad van cortando todas las imperfecciones a medida que el cordel va pasando. Esto logra una excelente presentación del producto el cual se enrolla finalmente en una máquina enconadura u ovilladora, dependiendo de la presentación que se quiera.

La cabuya (*Furcraea Andina*), es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles, laderas de los Andes y pertenece a la familia de las agaváceas. La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, se cultiva 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. La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas.

Tabla 2-9 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: M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

La fibra de cabuya es una buena opción si se considera que la resistencia a la tracción de la resina poliéster oscila entre 40 y 90 MPa, 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.

Hay existentes dos tipos de hilos de cabuya, el hilo fino y el hilo grueso. Cuyos diámetros aproximados de estos hilos son 0,9 mm y 1,5 mm. Debido a que la caracterización mecánica que requieren las probetas de un material compuesto en el presente trabajo se pretenderá trabajar con fibra fina de cabuya, ya que el hilo grueso dificulta el procesamiento del material dentro de los moldes. También, existen diferentes tipos de tejidos de fibra de cabuya, los más utilizados son conocidos con los nombres de tejido grueso, normal y fino.

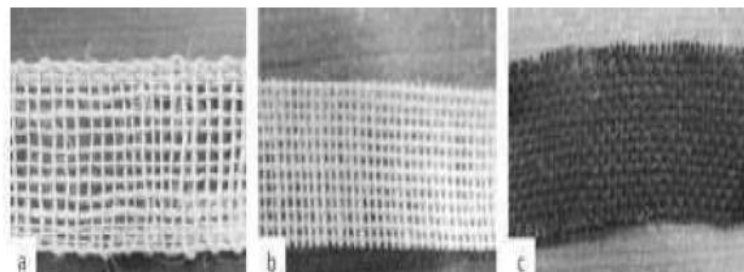


Figura 2-31 Tipos de tejidos de cabuya (grueso, normal, fino)

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros

2.1.2.19 Resina epoxi ^[17]

Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que al mezclar con un agente catalizador se endurece o endurecedor. Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epiclohidrina y bisfenol A. Los primeros intentos comerciales de producción tuvieron lugar en 1927 en los Estados Unidos. El mérito de la primera síntesis de una resina basada en bisfenol-a lo comparten el Dr. Pierre Castan de Suiza y el estadounidense Dr. S. O. Greenlee en 1936. El trabajo del suizo fue licenciado por la compañía química Ciba-Geigy, también suiza, que se convirtió rápidamente en uno de los tres mayores fabricantes mundiales de resinas epoxi, comercializándolas bajo el nombre de Araldite; aunque a finales de los años 1990 abandonó ese negocio. El trabajo del Dr. Greenlee fue a parar a una compañía pequeña, que luego fue comprada por Shell.

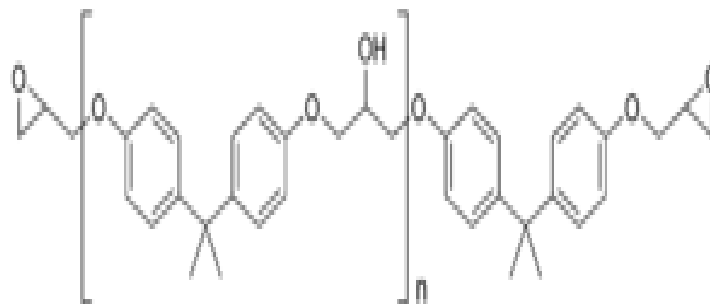


Figura 2-32 Estructura de epoxi prepolymer

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

2.1.2.20 Materiales compuestos

Las resinas epoxi se usan tanto en la construcción de moldes como de piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial. Los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, etc. Los compuestos de fibras y epoxi, aunque son más caros que los de resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes.

¹⁷ Diez, Agustín. (2008). Introducción a la resina poliéster como material compuesto, Editorial. Suin S.A. Pág. 1,2.

Además, las resinas epoxi pueden ser infiltradas en espumas metálicas (metal foams) para crear los materiales compuestos denominados IPC (Interpenetrating Phase Composites).

a) Resina Poliéster

El poliéster ($C_{10}H_8O_4$) se encuentra en la categoría de elastómeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. El poliéster termoplástico más conocido en el mercado es el PET. El PET está formado sintéticamente con etilenglicol tereftalato de dimetilo, produciendo el polímero o politericoletano. Como resultado del proceso de polimerización se obtiene la fibra, que en sus inicios fue la base para la elaboración de los hilos para coser y que actualmente tiene múltiples aplicaciones, como la fabricación de botellas de plástico que anteriormente se elaboraban con PVC.

Las resinas poliéster termoestables son utilizadas también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de pinturas. Para dar mayor resistencia mecánica suelen ir reforzadas con cortante, también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar.

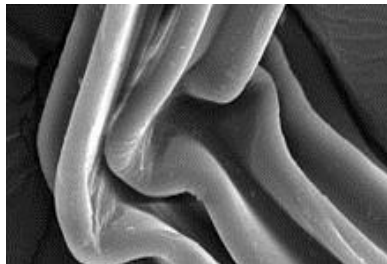


Figura 2-33 Fotografía de microscopio electrónico del poliéster

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

b) Resinas Acrílicas

Las resinas acrílicas son compuestos termoplásticos, derivados de la polimerización de los ácidos acrílicos y metacrílico. Estas resinas son de fácil utilización, tiempo de endurecimiento corto y contracción despreciable. Son plásticos muy resistentes y con cualidades ópticas. En particular, la resina acrílica

endurecida es termoplástica y resistente a los productos químicos. A partir de ella se obtienen el metacrilato así como también la pintura acrílica.

Algunos productos derivados son el metil metacrilato (MMA) y el polimetil metacrilato (PMMA). Ambos productos son conocidos por su alta transparencia y resistencia a los rayos UV. El PMMA se distingue por ser muy resistente a condiciones extremas de clima y exposición solar.



Figura 2-34 Resina Acrílica

Fuente: Tomado de la presentación de Laura Tatiana Veloza

Usos:

- Formadoras de placas.
- Fijadoras de pigmentos.
- Promovedoras de adherencia.
- Aglutinantes.
- Formadoras de películas.
- Aplicaciones:
- Construcción.
- Recubrimientos.” [18]

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación se fundamentará en el paradigma crítico propositivo, ya que en las características de este paradigma permite ser flexibles en cuanto a

¹⁸ Diez, Agustín. (2008). Introducción a la resina poliéster como material compuesto, Editorial. Suin S.A. Pág. 1-10.

consideraciones de diseño y métodos de elaboración, propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de los materiales compuestos de fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) con su desconocimiento de sus propiedades para los ingenieros de diseño, lo cual limita la aplicación industrial y desarrollo de nuevos productos. Además permitirá una correcta interpretación, comprensión y explicación de las variables a estudiar en esta investigación para considerar las cualidades más no las cantidades que en el desarrollo de esta investigación se podrán encontrar y producir durante el transcurso de la investigación. Mediante el paradigma propuesto se podrá plantear alternativas para la solución del presente problema la investigación, siempre enfocándose a un desarrollo de fácil comprobación.

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, máquinas universales, medidores de dureza etc. que permiten una medición adecuada de las mismas y por lo tanto un control de estos materiales compuestos.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación se desarrollará basada en las normas técnicas.

ASTM:

1. ASTM D 628 Determinación de las propiedades mecánicas en tensión para polímeros.
2. ASTM D 790 Determinación de las propiedades mecánicas en flexión para polímeros.
3. ASTM D 695 Determinación de las propiedades mecánicas en compresión para polímeros.
4. ASTM D 671-90 Ensayo de materiales para verificar el comportamiento a fatiga por flexión de los polímeros.

5. ASTM D 573 Deterioro bajo condiciones de temperatura.
6. CASA I+D-E Normas para ensayo de materiales.
7. ASTM STP 91-A Guía para la prueba de fatiga y análisis estadísticos de los datos de fatiga.
8. DIN 53442 Pruebas de fatiga por flexión para plásticos que utilizan muestras planas.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

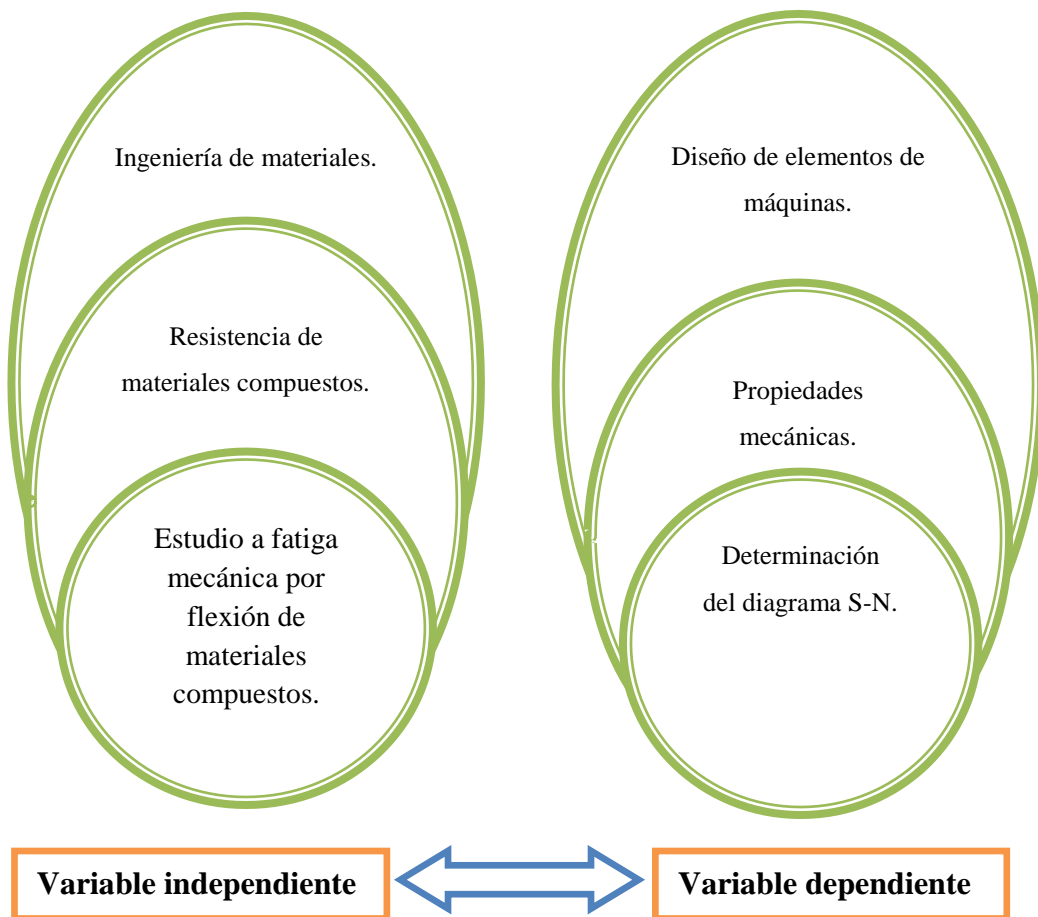


Figura 2-35 Categorías fundamentales

Fuente: El Autor

2.5 HIPÓTESIS

Mediante el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de los materiales compuestos con Fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) se determinará el diagrama S-N.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%).

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Diagrama S-N.

2.6.3 TERMINO DE RELACIÓN

Determinará.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente estudio se hace un análisis cuantitativo ya que las variables existentes en el proyecto admiten fracciones los cuales a su vez son explicativos, porque se realizan varios tipos de ensayos y cálculos para determinar el comportamiento mecánico de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%).

La información necesaria indispensable para la realización del proyecto proviene principalmente de fuentes primarias y secundarias, realizando posteriormente el análisis del proyecto. Las fuentes primarias nos proporcionarán información importante, la cual se recopila o encuentra en libros, tesis, documentales, internet, biblioteca etc., así también como las fuentes secundarias son documentos de resúmenes y listados de ensayos realizados sometidas a fatiga mecánica por flexión; así también para el análisis de resultados se manejará tablas, gráficas de barras, de dispersión de datos.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 EXPERIMENTAL

La investigación es de modalidad experimental, debido a que para el desarrollo del trabajo se analiza y evalúa la fiabilidad del proyecto con los resultados de los ensayos realizados para la determinación del diagrama S-N.

3.2.2 DE CAMPO

Además dicha investigación se realizó en los laboratorios de materiales de la carrera de Mecánica (FICM), es indispensable en vista que se ensayan las probetas para la recolección de datos y someterlas a un análisis estadístico para determinar las medidas de tendencia central y desviación, para evaluar la fiabilidad del proyecto.

3.2.3 BIBLIOGRÁFICA

La recolección de información necesaria en los siguientes portales: Internet, libros, catálogos y documentos realizados anteriormente por otras personas con el propósito de conocer, comparar, ampliar, profundizar, y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualización y criterios de diversos autores sobre propiedades mecánicas de los materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz poliéster.

3.3 NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIA

Esta investigación abarca el nivel exploratorio ya que reconocerá todas las variables para determinar cuál es su comportamiento en su contexto y recopilar la información inicial para articular y formular las variables que conlleva a obtener un conjunto de datos que nos permita ver el diagrama S-N.

3.3.2 DESCRIPTIVA

La descriptiva admitirá caracterizar la realidad investigada con lo que se realiza describiendo el problema, pues uno de los fines es describir las propiedades mecánicas, el proceso para su determinación y el diagrama S-N.

3.3.3 CORRELACIONAL

Además en este proyecto fue importante asociar las variables para determinar si en realidad la implementación del estudio del comportamiento mecánico de

materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz poliéster en realidad se obtenga la determinación del diagrama S-N y la posibilidad de utilización como elementos de máquinas.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

Determinando el tamaño de la muestra se podrá conocer la proporción de la población que tiene las características necesarias obtenidas en el estudio, los datos estadísticos servirán para conocer los parámetros de la población, por eso se habla de conocer los parámetros con una determinada precisión.

La población sobre la cual trata este proyecto estará constituida por el volumen de producción mundial de los materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz resina poliéster, dicha producción es indeterminada, por lo que el tamaño de la muestra se determinará utilizando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z\alpha^2 p_o q_o}{d^2} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Esta ecuación dependerá de tres factores:

1. El nivel de confianza, $(1-\alpha)$, que son de 95 al 99 % con un coeficiente $(Z\alpha)$, α está en función de los factores para el tamaño de la muestra que se encuentran en el Anexo 7.
2. La precisión que deseamos para nuestro estudio o error máximo d .y.
3. La proporción esperada $p=0.5$ recomendado.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 Variable Independiente: Estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%).

Tabla 3-1 Operacionalización variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Fatiga por flexión mecánica.</p> <p>Fatiga por flexión la probeta se somete a rotación con un número elevado de revoluciones (hasta 6000 rpm) y además a una fuerza perpendicular al eje rotatorio. Esta flexión produce junto con la rotación a una carga alternante de tracción-compresión en la superficie de la probeta.</p>	<p>Diseño</p> <p>Numero de ciclos hasta la falla.</p>	<p>Tipos de configuración.</p> <p>Tipos de estratificación.</p> <p>Criterios de fallas.</p>	<p>¿Plano, corta, largo?</p> <p>¿Manual compresión?</p> <p>¿Qué relación fatiga-vida deformación-vida obtendremos?</p>	<p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p> <p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p> <p>Ensayos de laboratorio. Hoja de toma de datos.</p>

Fuente: El Autor

3.5.2 Variable dependiente. Diagrama S-N.

Tabla 3-2 Operacionalización variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Curva S-N representativa.</p> <p>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).</p>	<p>Flexión mecánica</p> <p>Falla de materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz poliéster</p>	<p>Esfuerzo normal.</p> <p>Numero de ciclos.</p> <p>Resistencia a fatiga por flexión de los materiales compuestos con fibra de cabuya y matriz resina poliéster</p> <p>Diagrama S-N.</p>	<p>¿Cuál será su esfuerzo MPa?</p> <p>¿Cuál será el número de ciclos $N \cdot 10(0-5)$?</p> <p>¿Cuál será su resistencia a fatiga por flexión de los materiales con fibra de cabuya y matriz poliéster?</p> <p>¿Cuál será su diagrama S-N?</p>	<p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p> <p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p> <p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p> <p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Hoja de toma de datos.</p>

Fuente: El Autor

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En base al desarrollo de la operacionalización de variables se recolectó la información por medio de las siguientes técnicas con sus respectivos instrumentos:

3.6.1 OBSERVACIÓN

Para lo que se tomó notas de todo lo que se considera necesario en un cuaderno, para describir los hechos de significación especial, que ayuda a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente donde se anota fechas, cantidades y expresiones que se escuchan que ayuden a tener una base informativa suficiente.

3.7 PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Se determinó que el material que se utilizó para la prueba (materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%)).
- Se determinó la probeta para el ensayo de fatiga por flexión.
- Se determinó la deflexión que se aplica a la probeta, la misma que a su vez determina el esfuerzo aplicado para el desarrollo de la prueba.
- El esfuerzo máximo o resistencia a la tracción del material, (esfuerzos menores al 90 % y mayores al 30 % de la resistencia a la tracción del material).
- Se procedió a ubicar la probeta en los soportes.
- Con la probeta lista y ajustada, se procede al ensayo hasta que el material falle.
- Se enciende el interruptor del contador de ciclos.
- Se observa detalladamente el movimiento que presenta la probeta (tensión-compresión) al encontrarse aplicada la carga.
- Se registra los datos.
- Extraer las partes de la probeta de la máquina.

3.7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Tabulación de datos de acuerdo a la necesidad y a la relación que tengan con las variables y la hipótesis de nuestro material como (dimensiones, tipo de carga, esfuerzo, frecuencia, número de ciclos, tipo de falla).
- Representación de los resultados obtenidos a través de las tablas y gráficos (tabla de datos materiales ensayados, relación esfuerzo, distribución de frecuencia, Diagrama de Gauss, diagrama de caja).
- Analizar y relacionar los resultados obtenidos.
- Interpretar los resultados obtenidos con la ayuda del Excel y establecer el diagrama S-N.
- Graficar los resultados en el Excel mediante gráfico, tipo barras y tipo pastel.
- Determinar el diagrama S-N.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1 OBTENCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra se obtendrá como se planteó en literal 3.4 del capítulo III, de la cual se obtiene un margen de error estándar del $d=7\%$ siendo el tamaño de la muestra cómo se detalla a continuación:

Datos:

Los valores que se detalla a continuación son tomados del Anexo 7 Factores para el tamaño de la muestra.

$$\alpha = 0,1$$

$$Z_{\alpha} = 1,645$$

$$P = 0,95$$

$$Q = 0,05$$

Reemplazando los factores antes mencionados en la ecuación 3.1 tenemos el tamaño de muestra:

$$n = \frac{1,645^2 * 0,95 * 0,05}{0,07^2}$$

$$n = 26,23 \cong 26$$

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN

Para la determinación de la estratificación será como se indica en el capítulo II en literal 2.1.2.10, para este proyecto se realizara una estratificación manual de moldeo por compresión ya que el material que se realizara las probetas será de nylon y no de madera por su demora en el secado, La mitad superior del molde (macho) se cierra rápidamente. Finalmente se cura el material, se libera la presión y la pieza es expulsada como indica la Figura 4.1.






Figura 4-1 Modelo de la probeta

Fuente: El Autor

4.1.3 DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN

4.1.3.1 Tipos de configuración

Tabla 4-1 Determinación del tamaño de la muestra

TIPOS	DETALLE	FIGURA
1. Fibra corta	Fibra de cabuya, Se obtiene artesanalmente en Salasaca –Pelileo-Tungurahua, su picado es de (10 mm).	
2. Fibra larga	Fibra de cabuya, Se obtiene artesanalmente con un proceso de desmembramiento de celulosa, peinado y secado de la fibra.	
3. Tejido plano	Fibra de cabuya, Se obtiene artesanalmente con un proceso de desmembramiento de celulosa, peinado, secado de la fibra y cálculo de número de fibras para la base y la trama.	

Fuente: El Autor

4.1.4 DETERMINACIÓN DE LA PROBETA PARA EL ENSAYO

4.1.4.1 Preparación de las probetas

La norma ASTM E 466 especifica las características que se debe usar en las pruebas de fatiga axiales. Sin embargo para las pruebas en las que se mantiene a la probeta en rotación y flexión prueba de fatiga, no existe ninguna especificación por parte de la ASTM, tampoco especifica el tipo de máquina a utilizar. Las dimensiones específicas de las probetas dependen del objetivo experimental, de la máquina en que va a ser usado, y del material disponible. La norma ASTM especifica las técnicas de preparación los detalles y reportes técnicos que se deben realizar. En el reporte se debe informar: un boceto de la probeta con dimensiones; y la medida de la aspereza superficial. La preparación de la superficie es sumamente importante en todas las probetas utilizadas en los ensayos de fatiga. Para los ensayos de fatiga de polímeros por medio de viga en cantiléver la ASTM D 671 ha establecido dos tipos de probetas como las mostradas en las figuras 4.2 y 4.3 con espesores constantes de 2 a 8 mm, en donde la sección reducida es donde se espera que la probeta falle.

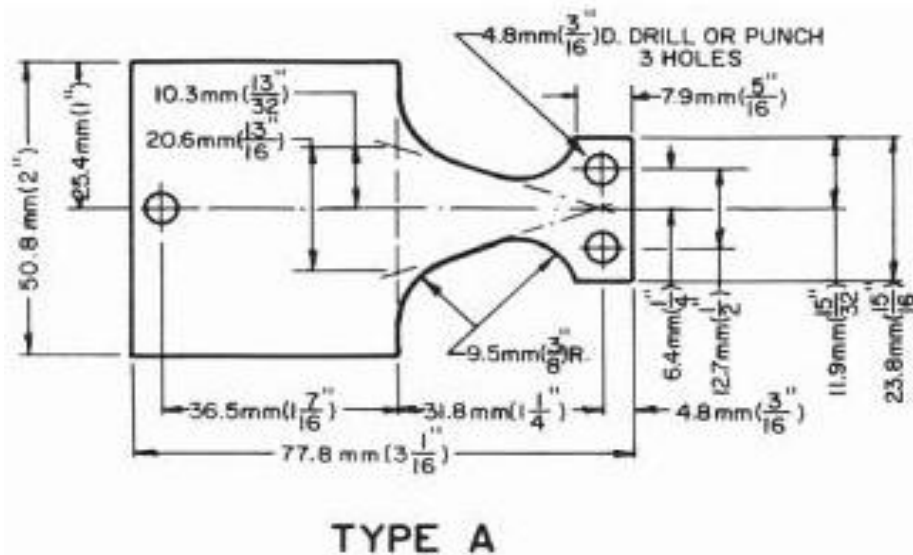


Figura 4-2 Probeta Tipo A para ensayo a fatiga por flexión

Fuente: Tomado de Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis, John Wiley & Sons, (2007)

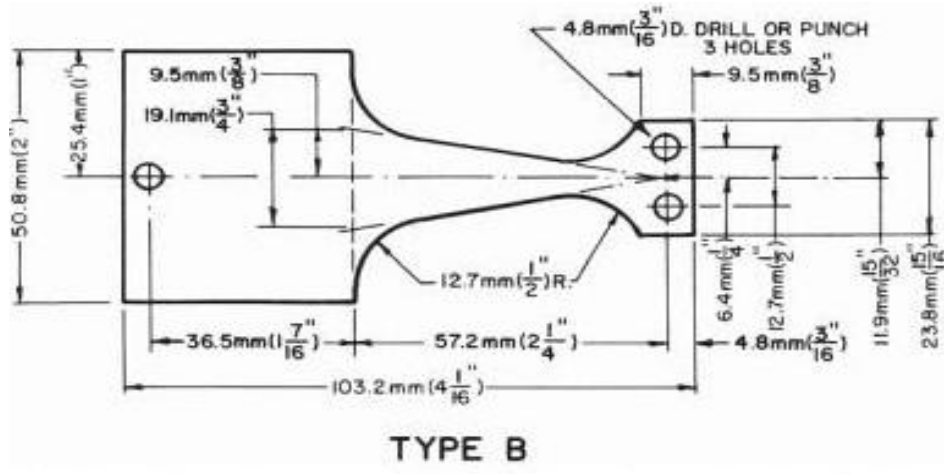


Figura 4-3 Probeta Tipo B para ensayo a fatiga por flexión

Fuente: Tomado de Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis, John Wiley & Sons, (2007)

Se determinó para los ensayos de fatiga mecánica por flexión se utilizó la probeta de tipo B ya que la especificación por parte de la ASTM afirma que las dimensiones de los especímenes dependen del objetivo experimental, de la máquina que va a ser usado y del material, para el presente estudio se utilizó la máquina de ensayos de fatiga de polímeros por medio de viga en cantiléver con un espesor de 8 mm por la fracción volumétrica que es de 70 % de matriz y 30 % de refuerzo.

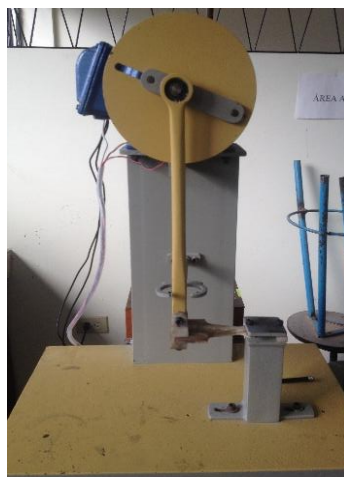


Figura 4-4 Máquina ensayo de fatiga mecánica por flexión

Fuente: Tomado de Tesis Maestría, Guamanquispe Jorge, (2012)

4.1.4.2 Proceso seguido en la elaboración de la probeta

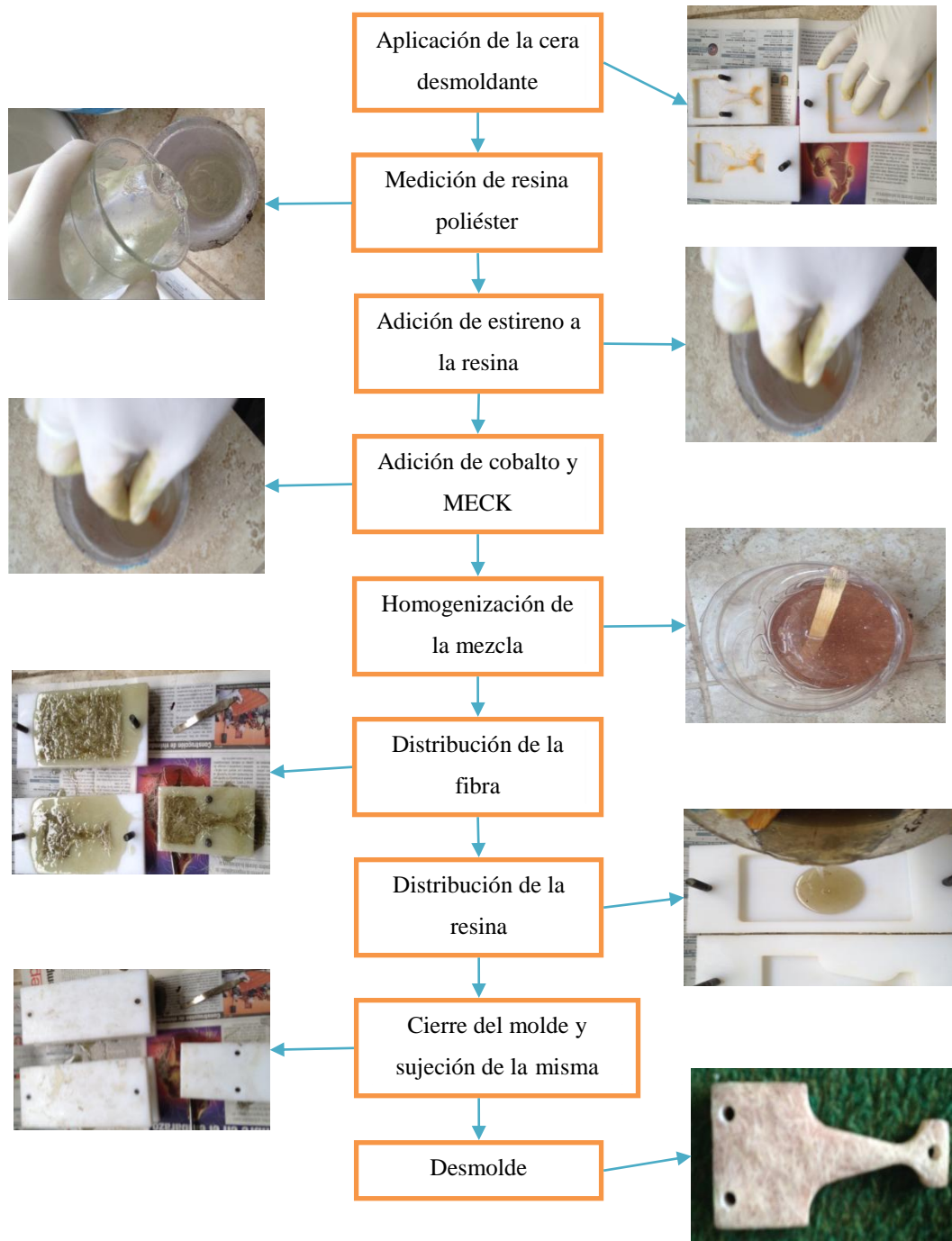


Figura 4-5 Proceso de la elaboración de la probeta

Fuente: El Autor

El esquema anterior representa el proceso que se siguió para la elaboración de las probetas, la misma que inicia con la construcción del molde que consiste en dos tapas según la forma requerida por la normativa, seguido se prepara el molde aplicando el desmoldante, se realiza la medición de la resina poliéster según las cantidades antes calculadas, se le añade el estireno, el cobalto y el MECK a la resina, se mezcla estos ingredientes hasta que se encuentren totalmente homogéneos, se procede aplicar una capa fina de la mezcla anterior, se coloca la fibra de cabuya según la distribución las mismas que fueron fibras largas de forma longitudinal, y las cortas se le coloco al azar, una vez lista la distribución respectiva, añadir la mezcla de la resina sobre la fibra de cabuya, cerrar el molde tratando de que estas dos tapas queden bien compactas, esperar 24 horas para el curado, transcurrido este tiempo desmoldar y dar los acabos pertinentes las mismas que consisten en lijar, retirar los excesos de resina.

4.1.5 DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA

La fracción volumétrica se determinó de los constituyentes del compuesto (FC+RP), la matriz es la resina poliéster y el refuerzo la fibra de cabuya el cual establece:

$$\rho_c = \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

ρ_c = Densidad del compuesto.

f_m = Fracción volumétrica de la matriz (resina poliéster).

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo (Fibra de cabuya).

m y f = Es la matriz y a la fibra de cabuya, además hay que considerar que:

FC= Fibra de cabuya.

RP= Resina Poliéster.

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Determinación del cálculo para la fracción volumétrica de la fibra de cabuya con matriz de resina poliéster ρ_c .

Densidad del compuesto: $\rho_c = FC + RP = 1,2296 \text{ gr/cc}$.

Densidad de la matriz: $\rho_m = RP = 1,20 \text{ gr/cc}$.

Densidad del refuerzo: $\rho_f = FC = 1,30 \text{ gr/cc}$.

De la Ecuación 4.1 se despeja la fracción volumétrica del refuerzo f_f , con la cual tenemos:

$$\rho_c = (1 - f_f)\rho_m + f_f\rho_f$$

$$f_f = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} + 1$$

$$f_f = 0,296 = 30 \%$$

De esto determinamos que la fracción volumétrica de la fibra de cabuya es de 30%. Reemplazamos en la Ecuación 4.2 para determinar la fracción volumétrica de la matriz:

$$f_m = 1 - 0,30$$

$$f_m = 0,70 = 70 \%$$

La fracción volumétrica de la matriz de resina poliéster es del 70 %.

4.1.5.1 Determinación del volumen de la matriz y el refuerzo

$$V_c = 23,28 \text{ cc}$$

$$V_m(70\%) = 16,30 \text{ cc}$$

$$V_f(30\%) = 6,98 \text{ cc}$$

$$M_m = \rho_m * V_m \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$M_m = 1,2 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} * 16,30 \text{cc} = 19,56 \text{ gr}$$

$$M_f = \rho_f * V_f \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$M_f = 1,3 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} * 6,98 \text{cc} = 9 \text{ gr}$$

Dónde:

VC= Volumen total de la probeta.

Vm= Volumen de la matriz (resina poliéster).

Vf= Volumen del refuerzo (Fibra de cabuya).

Mm= Masa de la matriz (resina poliéster).

Mf= Masa del refuerzo (Fibra de cabuya).

4.1.6 PROCESO PARA REALIZAR EL ENSAYO

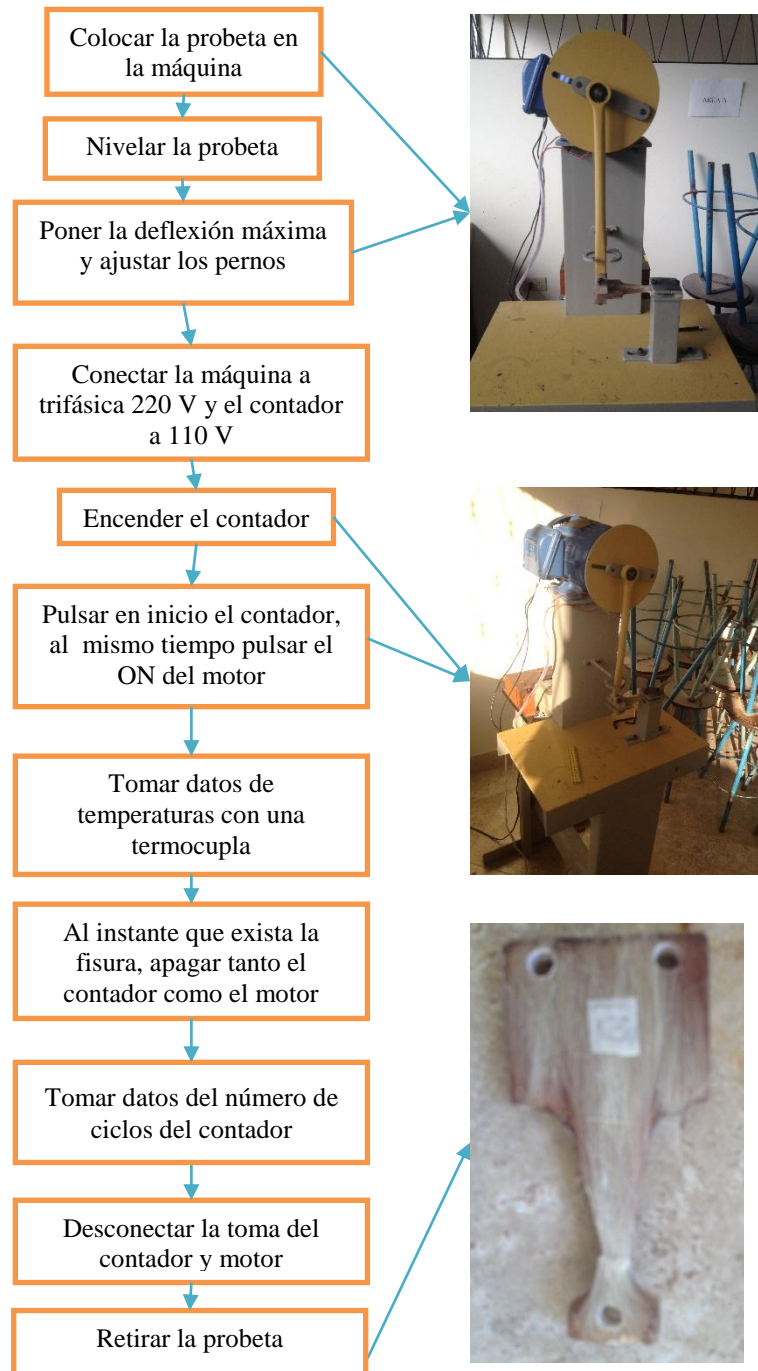


Figura 4-6 Proceso de la elaboración de la probeta

Fuente: El Autor

En el esquema anterior representa el proceso que se utilizó para realizar los ensayos con las probetas, la misma que fue como primer paso, colocar la probeta en la máquina de ensayos, la probeta debe quedar alineada y nivelada, se debe colocar los pernos que sujetan la probeta con la máquina, conectar el contador a 110 V mientras que la maquina a la línea trifásica de 220 V, encender el contador luego de esto se debe pulsar simultáneamente el ON del motor y el inicio del contador, tomar datos de temperaturas con la termocupla en diferentes ciclos y en el instante que falla la probeta, finalmente en el instante que se observe la falla en la probeta apagar tanto el contador como el motor, tomar datos del número de ciclos del contador, tabularlos y retirar la probeta. Seguir este procedimiento y lo indicado en la Figura 4-6 para las demás probetas.

4.1.6 ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL ESFUERZO

La determinación del esfuerzo normal y la deflexión se realizará como se planteó en literal 2.1.2.4 del Capítulo II, aplicando la Ecuación 2.4 para el esfuerzo normal y la ecuación 2.10, los ensayos se realizaron empezando por un esfuerzo muy cercano a la resistencia del material de la fibra de cabuya con la resina que es de 8080 MPa, este valor se tomó del Anexo 12 de acuerdo al estudio realizado por Ing. Víctor Hugo Guerrero con el tema de Nuevos Materiales, en los ensayos este esfuerzo se va disminuyendo hasta que la probeta tenga un número de ciclo lo suficiente alto.

4.1.6.1 Datos de deflexión

Para obtener información necesaria se realizó experimentación de acuerdo a la norma ASTM D671, realizando ensayos con probeta de fibra corta y larga, dicho estudio se realizó tomando en cuenta que es una viga en cantiléver a una frecuencia de 30 Hz, con un módulo de elasticidad $E=8080$ MPa, aplicando las formulas anteriores, la deflexión en cualquier punto se obtiene en la siguiente tabla:

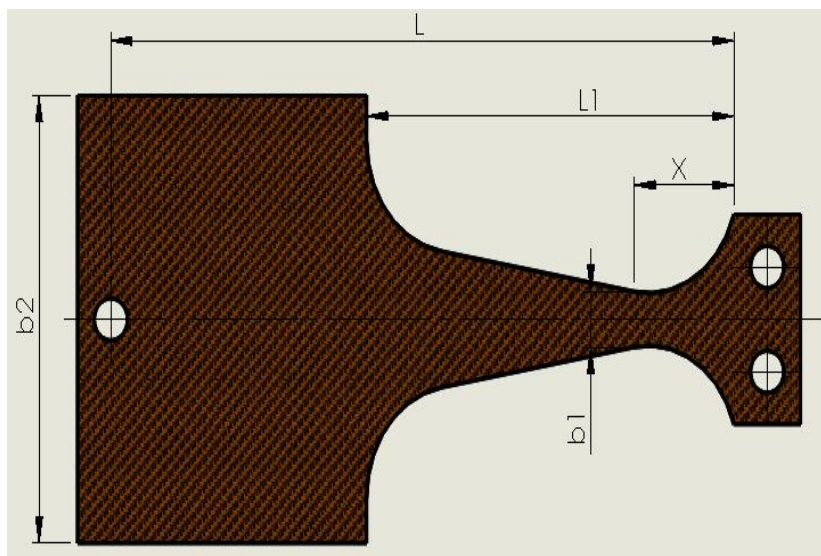


Figura 4-7 Probeta

Fuente: Tomado de Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis, John Wiley & Sons, (2007)

Tabla 4-2 Datos del ensayo de la fibra corta


 REG: MC-001		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA							
Descripción: Ensayo de la probeta con fibra corta							Fecha: 10/04/2014		
Obs	t[m]	b1[m]	b2[m]	L1[m]	L[m]	X[m]	def2[m]	Carga P[N]	N
1	0,0086	0,0065	0,0514	0,0529	0,0869	0,0094	- 0,0095	126,90	2
2	0,0088	0,0065	0,0510	0,0534	0,0856	0,0105	- 0,0090	134,67	5
3	0,0083	0,0063	0,0510	0,0525	0,0867	0,0102	- 0,0090	105,98	8
4	0,0089	0,0065	0,0509	0,0529	0,0864	0,0103	- 0,0080	120,45	27
5	0,0083	0,0064	0,0512	0,0528	0,0870	0,0095	- 0,0080	94,67	15
6	0,0081	0,0065	0,0510	0,0530	0,0865	0,0103	- 0,0080	90,80	18
7	0,0084	0,0066	0,0507	0,0526	0,0866	0,0100	- 0,0070	90,00	42

Continuación. Tabla 4-2 Datos del ensayo de la fibra corta

8	0,009	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,007	101,8	55
9	0,008	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,007	83,4	48
10	0,009	0,007	0,052	0,053	0,087	0,01	-0,006	78,25	52
11	0,008	0,007	0,051	0,054	0,087	0,01	-0,006	75,8	44
12	0,009	0,007	0,051	0,053	0,086	0,009	-0,006	89,35	53
13	0,008	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,005	60,97	63
14	0,008	0,007	0,051	0,053	0,087	0,01	-0,005	60,7	97
15	0,009	0,007	0,051	0,053	0,086	0,009	-0,005	68,7	137
16	0,009	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,004	59,1	436
17	0,008	0,007	0,051	0,053	0,086	0,01	-0,004	49,17	670
18	0,008	0,007	0,051	0,053	0,087	0,011	-0,004	48	842
19	0,009	0,007	0,05	0,055	0,09	0,01	-0,003	35,55	1980
20	0,008	0,006	0,051	0,055	0,086	0,01	-0,003	32	2187
21	0,008	0,007	0,051	0,054	0,087	0,008	-0,003	34,45	2408
22	0,009	0,007	0,051	0,053	0,087	0,01	-0,003	36,8	4612
23	0,009	0,007	0,051	0,052	0,087	0,011	-0,003	38,2	3518
24	0,008	0,007	0,051	0,052	0,087	0,01	-0,002	24,87	65521
25	0,009	0,007	0,051	0,054	0,087	0,01	-0,001	14,5	125648
26	0,009	0,007	0,051	0,053	0,086	0,01	-0,001	13,4	184634

Fuente: El Autor

Tabla 4-3 Datos del ensayo de la fibra larga

 <p>FICM</p> <p>REG: MC-002</p>	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA</p>								
	Descripción: Ensayo de la probeta fibra larga						Fecha: 12/04/2014		
Obs	t[m]	b1[m]	b2[m]	L1[m]	L[m]	X[m]	def2[m]	Carga P[N]	N
1	0,0089	0,0065	0,0509	0,0525	0,0860	0,0094	- 0,0095	137,90	3
2	0,0086	0,0065	0,0510	0,0530	0,0866	0,0105	- 0,0090	134,67	50

Continuación. Tabla 4-3 Datos del ensayo de la fibra larga


3	0,0086	0,0067	0,0510	0,0529	0,0869	0,0102	- 0,0090	124,70	38
4	0,0084	0,0066	0,0509	0,0523	0,0860	0,0103	- 0,0080	105,20	67
5	0,0085	0,0066	0,0510	0,0538	0,0873	0,0095	- 0,0080	103,40	80
6	0,0088	0,0071	0,0509	0,0523	0,0862	0,0103	- 0,0070	112,80	70
7	0,0084	0,0067	0,0510	0,0528	0,0867	0,0100	- 0,0070	90,70	115
8	0,009	0,007	0,051	0,052	0,087	0,009	-0,006	95,88	152
9	0,01	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,006	117,8	123
10	0,009	0,007	0,051	0,053	0,088	0,01	-0,005	75,89	670
11	0,009	0,007	0,051	0,052	0,086	0,01	-0,005	87,65	720
12	0,009	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,005	66,45	808
13	0,009	0,007	0,051	0,052	0,086	0,009	-0,004	62	1394
14	0,009	0,007	0,051	0,053	0,087	0,01	-0,004	68,78	2800
15	0,008	0,006	0,051	0,051	0,087	0,009	-0,004	47,98	2422
16	0,01	0,007	0,051	0,053	0,087	0,009	-0,003	66,53	13996
17	0,008	0,006	0,051	0,053	0,086	0,01	-0,003	37,87	15622
18	0,009	0,007	0,051	0,052	0,086	0,011	-0,003	44,45	18345
19	0,009	0,007	0,051	0,052	0,086	0,01	-0,003	40	40215
20	0,008	0,006	0,051	0,053	0,087	0,01	-0,003	29,67	45518
21	0,009	0,007	0,051	0,052	0,087	0,008	-0,003	38,78	38615
22	0,009	0,007	0,051	0,052	0,087	0,01	-0,002	26,8	63337
23	0,009	0,006	0,051	0,053	0,087	0,011	-0,002	31,8	55418
24	0,009	0,006	0,051	0,052	0,087	0,01	-0,002	25,5	39148
25	0,009	0,006	0,051	0,052	0,086	0,01	-0,001	17,53	194415
26	0,009	0,006	0,051	0,053	0,086	0,01	-0,001	12,4	280136

Fuente: El Autor

Estos datos se obtuvieron utilizando la máquina ensayo de fatiga mecánica por flexión como se muestra en la Figura 4.4, la misma que se determinó el número de ciclos hasta la falla del material, tanto para el tendido larga como para la corta de la fibra de cabuya, mediante la cual también se obtuvieron datos de temperaturas en el instante que falla la probeta, dichos valores están tabulados en el literal siguiente.

4.1.6.2 Datos de temperaturas según el número de ciclos

Tabla 4-4 Datos de temperaturas VS Número de ciclo

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	
REG: MC-003			
Descripción: Temperaturas VS Número de ciclo		Fecha: 10/04/2014	
Probeta fibra corta		Probeta fibra larga	
N	Temperatura (°C)	N	Temperatura (°C)
2	15	3	17
5	15	50	17
8	15	38	17
27	15,1	67	17,1
15	15	80	17,3
18	15	70	17,2
42	15,2	115	17,5
55	15,2	152	18
48	15,2	123	17,7
52	15,2	670	18,2
44	15,2	720	18,5
53	15,2	808	18,8
63	15,4	1394	19
97	15,6	2800	19,7
137	15,8	2422	19,5
436	15,9	13996	20
670	15,9	15622	21,5
842	16	18345	25
1980	16,2	40215	58
2187	16,7	45518	65
2408	16,9	38615	55
4612	17,4	63337	88
3518	17	55418	76
65521	92	39148	45
125648	105	194415	110
184634	110	280136	125

Fuente: El Autor

Estos datos se obtuvieron cada 100 °C y en el momento de la ruptura de la probeta, la tabla se construyó interpolando para cada dato del número de ciclo la misma que se comprobó con la medida que se obtuvo en el momento de la ruptura, se tomó la media de las dos medidas para cada ciclo. Según la teoría la resina alcanza su punto de derretimiento a los 100°C, en nuestro análisis se pudo observar que las primeras probetas se rompían a bajas temperaturas debido a la acción de la fuerza, mientras se disminuía la fuerza a las probetas, se observó que las probetas se destrozaban a causa de un aumento de la temperatura a ciclos muy altos como se muestra en la Tabla 4-4, dicha temperatura está en el rango de 95 a 125°C muy cercano a lo que indica lo teórico.

La regresión lineal de los datos es como se muestra a continuación:

$$Y = A + b * X \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$Y = T; X = \text{Log}N; T = A + b * \text{Log}N \quad \text{Ecuación 4.6}$$

De acuerdo al estudio realizado por Toasa C en 2009, las mismas que podemos encontrar en el trabajo realizado por el Ingeniero Jorge Guamanquispe, las constantes de regresión vienen dadas por:

$$\hat{b} = \frac{k \sum_{i=1}^k X_i Y_i - \sum_{i=1}^k X_i \sum_{i=1}^k Y_i}{k \sum_{i=1}^k X_i^2 - (\sum_{i=1}^k X_i)^2} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$\hat{A} = \hat{Y} - \hat{b}\hat{X} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde \hat{Y} y \hat{X} son las medidas de nuestros datos de las pruebas Y_i y X_i respectivamente siendo:

$$\hat{X} = \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Con estas ecuaciones se procede a construir la tabla para la regresión las mismas que representan los datos necesarios para la regresión. »^[19]

4.1.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ENSAYOS FIBRA CORTA

Los datos de la Tabla 4.2 y mediante las ecuaciones 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se determinaron la relación existente entre el esfuerzo S generada en la probeta y el número de ciclos N, dichos datos se registra en la tabla siguiente:

Tabla 4-5 Relación S vs N probeta fibra corta

Obs	N	Log N	S [Mpa]	Log S
1	2	0,301	123,124	2,090
2	5	0,699	120,635	2,081
3	8	0,903	112,083	2,050
4	27	1,431	107,177	2,030
5	15	1,176	99,846	1,999
6	18	1,255	97,344	1,988
8	55	1,740	93,660	1,972
9	48	1,681	87,387	1,941
10	52	1,716	76,502	1,884
11	44	1,643	74,612	1,873
12	53	1,724	81,795	1,913
14	97	1,987	62,006	1,792
15	137	2,137	65,613	1,817
16	436	2,639	53,739	1,730
17	670	2,826	50,336	1,702
18	842	2,925	48,649	1,687
20	2187	3,340	37,214	1,571
21	2408	3,382	36,889	1,567
22	4612	3,664	32,640	1,514
23	3518	3,546	33,232	1,522
24	65521	4,816	25,339	1,404
25	125648	5,099	13,141	1,119
26	184634	5,266	12,943	1,112

Fuente: El Autor

¹⁹ Guamanquispe J. (2012). Tesis Magister en Diseño Mecánico. Estudio del comportamiento a fatiga mecánica del teflón y Nylon para determinar la relación esfuerzo-número de ciclos bajo la aplicación de cargas variables y su influencia en el diseño de máquinas. Universidad Técnica de Ambato. Págs. 74,75.

4.1.7.1 Relación T-vs-N probeta fibra corta

Con los datos que se obtuvo en la Tabla 4.4, se construyó el gráfico de temperatura vs número de ciclos, en la cual se puede apreciar claramente una relación logarítmica entre las variables, por lo cual se decide realizar una regresión lineal entre la temperatura y el logaritmo vulgar del número de ciclos.

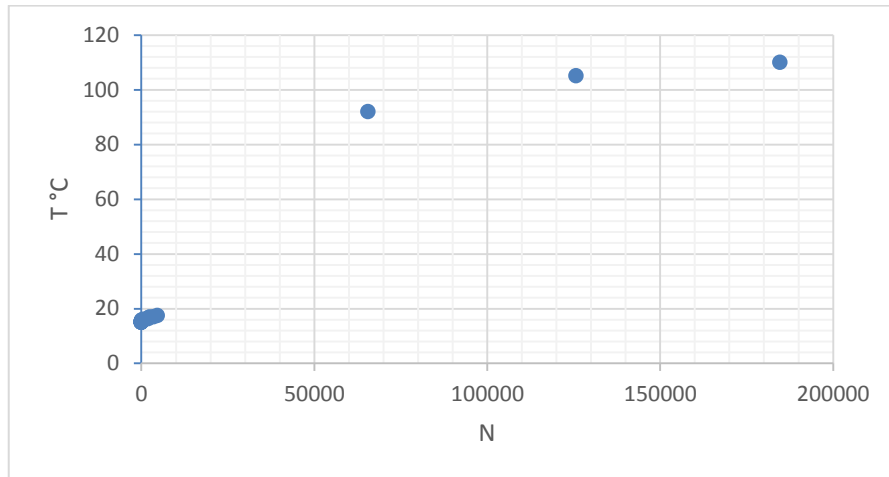


Figura 4-8 Relación temperatura VS número de ciclos probeta fibra corta

Fuente: El Autor

El gráfico que a continuación se muestra representa la distribución de temperaturas VS el logaritmo del número de ciclos para la probeta fibra corta.

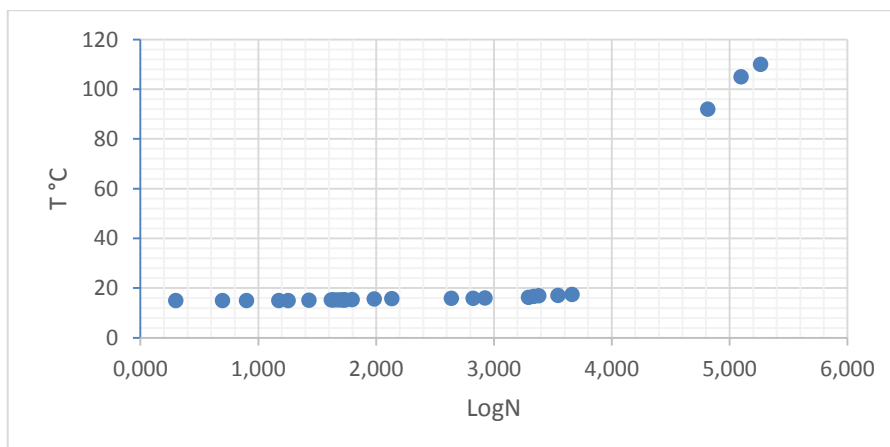



Figura 4-9 Relación temperatura VS logaritmo del N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

Tabla 4-6 Datos para la regresión de T vs LogN probeta fibra corta

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
REG: MC-004							
Descripción: Regresión de T vs LogN probeta fibra corta							
Ni	Temp.°C	Xi=LogNi	Yi^2	Xi^2	Xi*Yi	Yical	(Yi-Yical)^2
2	15	0,301	225	0,091	4,515	17,609	6,806
5	15	0,699	225	0,489	10,485	23,964	80,346
8	15	0,903	225	0,816	13,546	27,223	149,405
27	15,1	1,431	228,01	2,049	21,614	35,659	422,677
15	15	1,176	225	1,383	17,641	31,583	274,985
18	15	1,255	225	1,576	18,829	32,847	318,520
42	15,2	1,623	231,04	2,635	24,673	38,723	553,346
55	15,2	1,740	231,04	3,029	26,454	40,593	644,829
48	15,2	1,681	231,04	2,827	25,555	39,649	597,772
52	15,2	1,716	231,04	2,945	26,083	40,204	625,225
44	15,2	1,643	231,04	2,701	24,980	39,046	568,629
53	15,2	1,724	231,04	2,973	26,209	40,337	631,848
63	15,4	1,799	237,16	3,238	27,710	41,535	683,054
97	15,6	1,987	243,36	3,947	30,994	44,528	836,851
137	15,8	2,137	249,64	4,566	33,760	46,923	968,634
436	15,9	2,639	252,81	6,967	41,968	54,952	1525,021
670	15,9	2,826	252,81	7,987	44,935	57,931	1766,616
842	16	2,925	256	8,557	46,805	59,516	1893,628
1980	16,2	3,297	262,44	10,868	53,406	65,446	2425,163
2187	16,7	3,340	278,89	11,155	55,775	66,136	2443,872
2408	16,9	3,382	285,61	11,436	57,150	66,803	2490,326
4612	17,4	3,664	302,76	13,424	63,752	71,310	2906,300
3518	17	3,546	289	12,576	60,287	69,432	2749,143
65521	92	4,816	8464	23,198	443,107	89,714	5,225
125648	105	5,099	11025	26,001	535,411	94,230	115,998
184634	110	5,266	12100	27,734	579,294	96,899	171,635

Fuente: El Autor

Con los datos de esta tabla se procedió a calcular las constantes de la regresión semi-logarítmica, dichos datos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-7 Constantes de regresión para la probeta fibra corta

	Temp. Ti	LogNi
Medias	25,658	2,408
Constante b=	15,969	
Constante A=	12,802	

Fuente: El Autor

De esta manera la ecuación para la regresión queda como se cita a continuación:

$$T = 15,969 * \log N + 12,802 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Los datos que se registraron en la Tabla 4.5, se deben corregir debido a la variación del módulo de elasticidad E con la temperatura, por lo tanto la ecuación que relacionan dichos parámetros se obtiene de la ecuación de la recta.

$$Y = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} * (X - X1) + Y1 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Dónde:

Y= Representa el módulo de elasticidad E (GPa).

X= Temperatura T (°C).

$$Y = \frac{6,5 - 1,8}{15 - 110} * (X - 110) + 1,8$$

$$Y = -0,0495X + 7,242$$


Considerando la relación de módulos como un factor de corrección $k=E^*/E$, se tiene:

$$E^* = k * E = k = \frac{-0,0495T + 7,242}{7,242} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

4.1.7.2 Corrección del esfuerzo con la T probeta fibra corta

Los valores de la Tabla 4.5 son corregidos de acuerdo al factor k según la temperatura correspondiente dichos datos corregidos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-8 Corrección del esfuerzo con la T probeta fibra corta

 REG: MC-005		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
Descripción: Corrección del esfuerzo con la temperatura probeta fibra corta							
Obs	Factor k	def2[m]	Carga P[N]	N	Log N	S [Mpa]	Log S
1	0,880	-0,0095	111,626	2	0,301	108,305	2,035
2	0,836	-0,0090	112,612	5	0,699	100,875	2,004
3	0,814	-0,0090	86,260	8	0,903	91,227	1,960
4	0,756	-0,0080	91,092	27	1,431	81,054	1,909
5	0,784	-0,0080	74,233	15	1,176	78,292	1,894
6	0,775	-0,0080	70,414	18	1,255	75,489	1,878
7	0,735	-0,0070	66,179	42	1,623	65,313	1,815
8	0,723	-0,0070	73,540	55	1,740	67,673	1,830
9	0,729	-0,0070	60,798	48	1,681	63,704	1,804
10	0,725	-0,0060	56,747	52	1,716	55,479	1,744
11	0,733	-0,0060	55,570	44	1,643	54,700	1,738
13	0,716	-0,0050	43,661	63	1,799	44,270	1,646
14	0,696	-0,0050	42,226	97	1,987	43,134	1,635
15	0,679	-0,0050	46,666	137	2,137	44,569	1,649
16	0,624	-0,0040	36,902	436	2,639	33,554	1,526
17	0,604	-0,0040	29,700	670	2,826	30,404	1,483
19	0,553	-0,0030	19,647	1980	3,297	19,956	1,300
20	0,548	-0,0030	17,535	2187	3,340	20,392	1,309
21	0,543	-0,0030	18,720	2408	3,382	20,045	1,302

Continuación. Tabla 4-8 Corrección del esfuerzo con la temperatura probeta fibra corta

22	0,513	-0,0025	18,863	4612	3,664	16,731	1,224
23	0,525	-0,0025	20,071	3518	3,546	17,461	1,242
24	0,387	-0,0020	9,620	65521	4,816	9,801	0,991
25	0,356	-0,0010	5,161	125648	5,099	4,677	0,670
26	0,338	-0,0010	4,525	184634	5,266	4,371	0,641

Fuente: El Autor

Estos datos son graficados para determinar la relación existente entre el esfuerzo en función del número de ciclos, así también la combinación del esfuerzo en función del logaritmo vulgar del número de ciclo y finalmente la relación que existe entre los logaritmos mostrados en la tabla anterior, dichas gráficas se muestra a continuación:

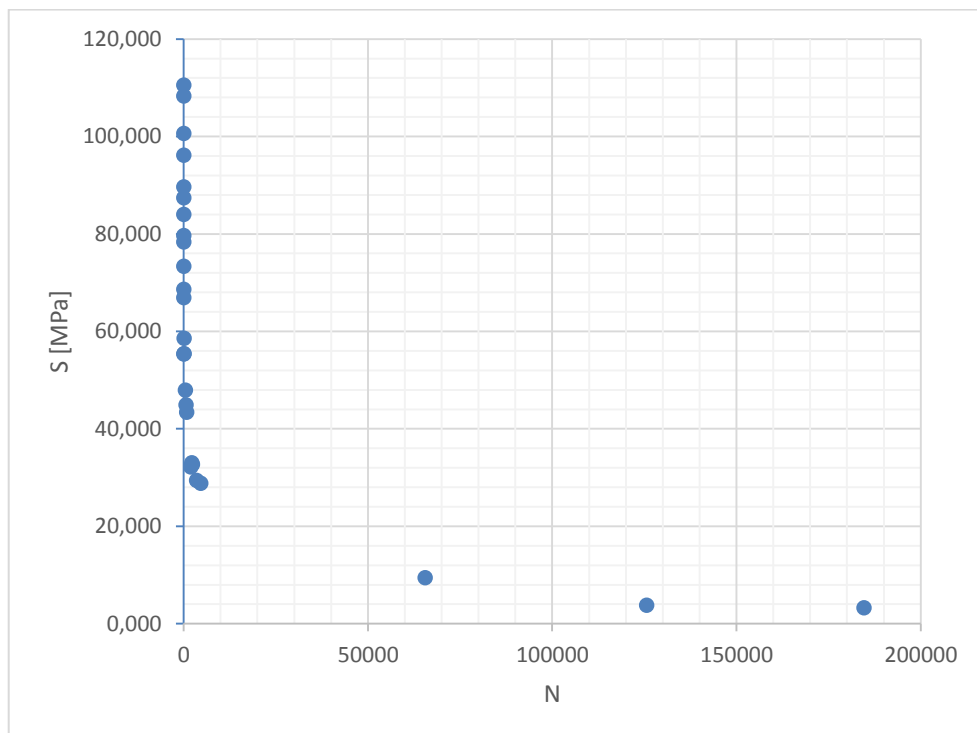


Figura 4-10 Relación S-VS-N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

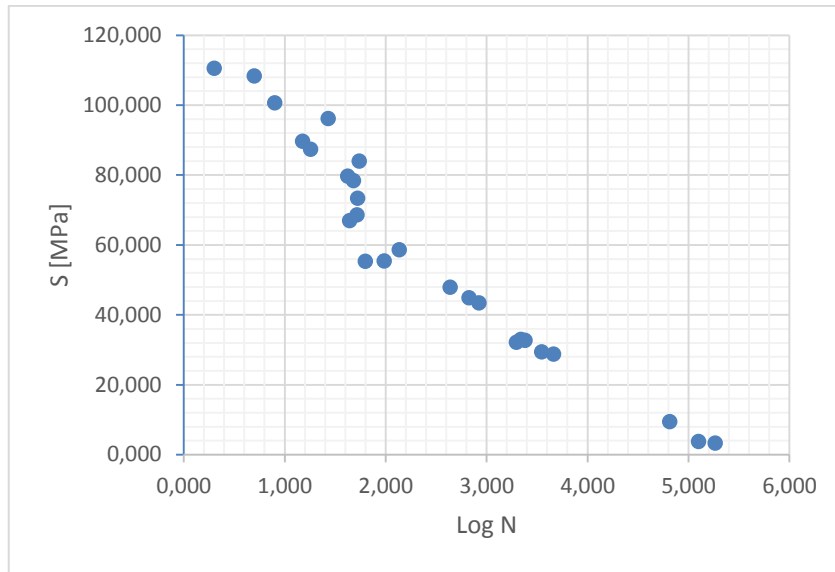


Figura 4-11 Relación S-VS-Log N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

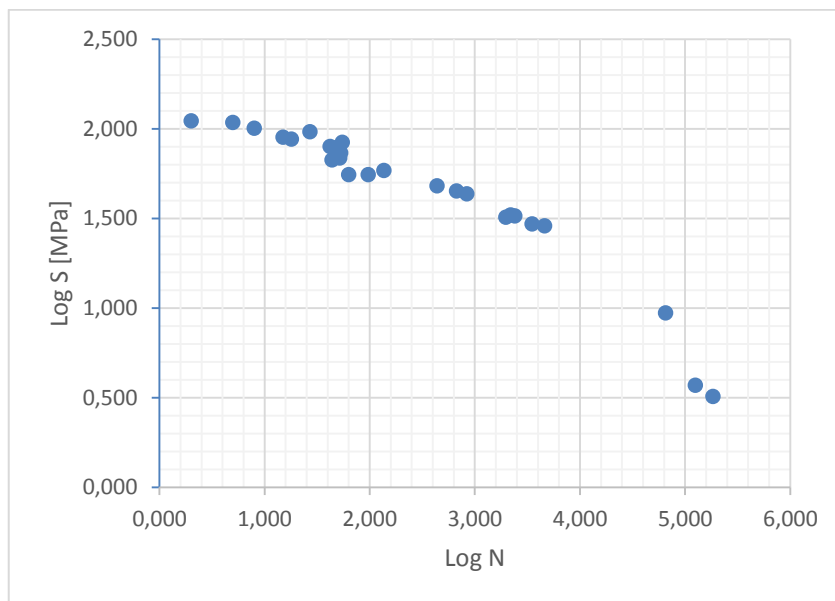


Figura 4-12 Log S-VS-Log N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

4.1.7.3 Relación S-vs-N probeta fibra corta

Para realizar este tipo de relación se basa en la fórmula que expresa el esfuerzo en la probeta como función del número de ciclos.

$$S = a * N^b \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Dónde:

S= Representa la amplitud del esfuerzo en Mpa. N= Es el número de ciclos de carga hasta la falla. a y b= son constantes, las mismas que nos servirán para la regresión. Formulando logaritmos decimal a la Ecuación 4.14 tenemos:

$$\log S = \log a + b * \log N \quad \text{Ecuación 4.15}$$


Por facilidad de cálculo representaremos esta ecuación como:

Y= logS; A= loga; X= logN.

Reemplazando las anteriores igualdades nuestra ecuación queda de la siguiente forma:

$$Y = A + b * X \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Tabla 4-9 Datos para la regresión de S vs N probeta fibra corta

 REG: MC-006		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
Descripción: Regresión de S vs N probeta fibra corta							
Ni	Si [Mpa]	Xi=logNi	Yi=logSi	Xi^2	Xi*Yi	Yicalc	(Yi-Yicalc)^2
2	108,305	0,301	2,035	0,091	0,612	1,372	0,439
5	100,875	0,699	2,004	0,489	1,401	1,407	0,357
8	91,227	0,903	1,960	0,816	1,770	1,424	0,287
27	81,054	1,431	1,909	2,049	2,732	1,471	0,192
15	78,292	1,176	1,894	1,383	2,227	1,448	0,198
18	75,489	1,255	1,878	1,576	2,357	1,455	0,179
42	65,313	1,623	1,815	2,635	2,946	1,487	0,107

Continuación. Tabla 4-9 Datos para la regresión de S vs N probeta fibra corta

55	67,673	1,740	1,830	3,029	3,186	1,498	0,111
48	63,704	1,681	1,804	2,827	3,033	1,493	0,097
52	55,479	1,716	1,744	2,945	2,993	1,496	0,062
44	54,700	1,643	1,738	2,701	2,856	1,489	0,062
53	59,244	1,724	1,773	2,973	3,057	1,496	0,076
63	44,270	1,799	1,646	3,238	2,962	1,503	0,021
97	43,134	1,987	1,635	3,947	3,248	1,519	0,013
137	44,569	2,137	1,649	4,566	3,524	1,532	0,014
436	33,554	2,639	1,526	6,967	4,027	1,576	0,003
670	30,404	2,826	1,483	7,987	4,191	1,593	0,012
842	28,859	2,925	1,460	8,557	4,272	1,601	0,020
1980	19,956	3,297	1,300	10,868	4,286	1,634	0,111
2187	20,392	3,340	1,309	11,155	4,373	1,638	0,108
2408	20,045	3,382	1,302	11,436	4,403	1,641	0,115
4612	16,731	3,664	1,224	13,424	4,483	1,666	0,196
3518	17,461	3,546	1,242	12,576	4,405	1,656	0,171
65521	9,801	4,816	0,991	23,198	4,774	1,767	0,602
125648	4,677	5,099	0,670	26,001	3,416	1,792	1,258
184634	4,371	5,266	0,641	27,734	3,373	1,806	1,359
Sumatoria	1239,578	62,618	40,461	195,164	84,908	40,461	6,169

Fuente: El Autor

Con los datos de esta tabla se procedió a calcular las constantes de la regresión semi-logarítmica, de acuerdo a las Ecuaciones 4.15 y 4.16, dichos datos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-10 Constantes de regresión para la probeta fibra corta

	Si [Mpa]	Log Ni	Log Si
Medias	47,676	2,408	1,556
Constante b=	-0,087		
Constante A=	1,345		

Fuente: El Autor

Reemplazando las constantes en la Ecuación 4.16, tenemos las siguientes ecuaciones tanto en la representada como en la logarítmica:

$$Y = 1,345 - 0,087 * X \quad \text{Ecuación 4.17}$$

$$\text{Log } S = 1,345 - 0,087 * \text{Log } N \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Dónde:

$$A = \log a = a = 10^{1,345} = 22,131$$

Este valor reemplazando en la Ecuación 4.14, de la cual partiremos es como se muestra a continuación:

$$S = 22,131 * N^{-0,087} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

En la tabla siguiente se puede apreciar los valores que se obtuvieron aplicando la ecuación anterior.

Tabla 4-11 Constantes de regresión para la probeta fibra corta

Obs	S [Mpa]	Ni	Log Ni
1	20,836	2	0,301
2	19,239	5	0,699
3	18,469	8	0,903
4	16,614	27	1,431
5	17,486	15	1,176
6	17,210	18	1,255
7	15,987	42	1,623
8	15,617	55	1,740
9	15,803	48	1,681
10	15,693	52	1,716
11	15,923	44	1,643
12	15,667	53	1,724

Continuación. Tabla 4-11 Constantes de regresión para la probeta fibra corta

13	15,433	63	1,799
14	14,865	97	1,987
15	14,425	137	2,137
16	13,043	436	2,639
17	12,564	670	2,826
18	12,317	842	2,925
19	11,434	1980	3,297
20	11,335	2187	3,340
21	11,241	2408	3,382
22	10,623	4612	3,664
23	10,876	3518	3,546
24	8,433	65521	4,816
25	7,968	125648	5,099
26	7,706	184634	5,266

Fuente: El Autor

Las siguientes gráficas corresponden a los datos de la tabla anterior tanto la gráfica de esfuerzos (S) respecto al número de ciclos (N) como la gráfica esfuerzo (S) versus Log N.

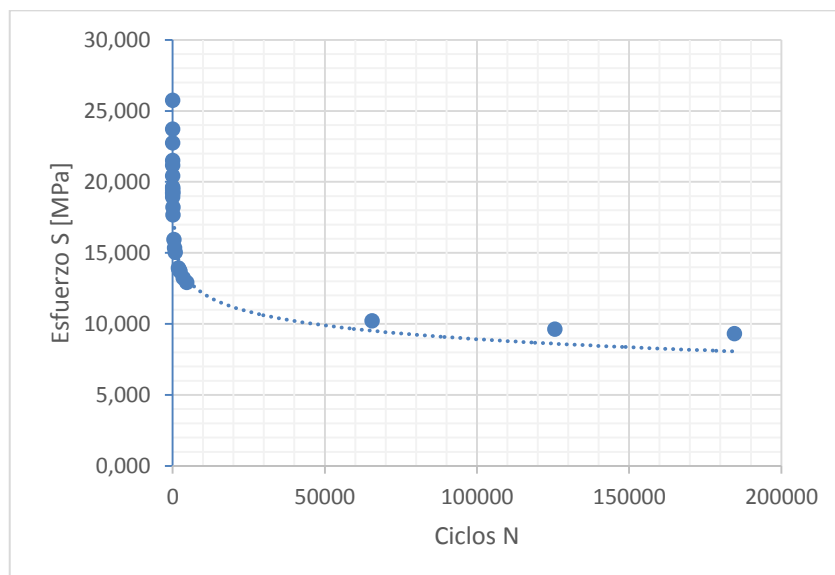


Figura 4-13 Relación S-VS-N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

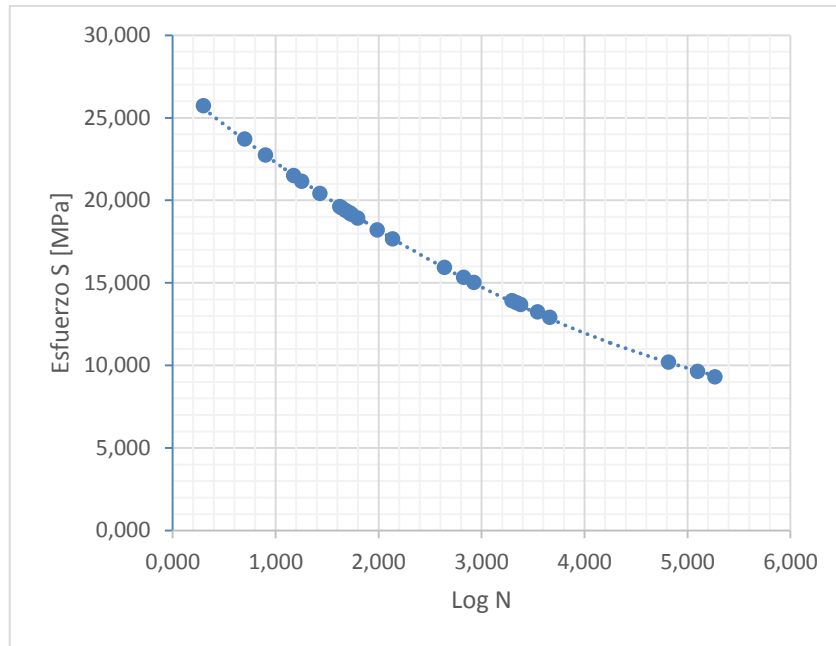


Figura 4-14 Relación S-VS-Log N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

4.1.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ENSAYOS FIBRA LARGA

Los datos de la Tabla 4.3 y mediante las Ecuaciones 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, se determina la relación existente entre el esfuerzo S generada en la probeta y el número de ciclos N, dichos datos se registra en la tabla siguiente:

Tabla 4-12 Relación S vs N probeta fibra larga

Obs	N	Log N	S [Mpa]	Log S
1	3	0,477	123,098	2,090
2	50	1,699	127,992	2,107
3	38	1,580	115,809	2,064
4	67	1,826	102,603	2,011
5	80	1,903	101,221	2,005
6	70	1,845	93,428	1,970
7	115	2,061	88,292	1,946
8	152	2,182	81,729	1,912
9	123	2,090	87,392	1,941

Continuación. Tabla 4-12 Relación S vs N probeta fibra larga

10	670	2,826	67,458	1,829
11	720	2,857	68,769	1,837
12	808	2,907	64,799	1,812
13	1394	3,144	54,254	1,734
14	2800	3,447	56,450	1,752
15	2422	3,384	51,125	1,709
16	13996	4,146	45,847	1,661
17	15622	4,194	38,240	1,583
18	18345	4,264	38,996	1,591
19	40215	4,604	34,460	1,537
20	45518	4,658	32,252	1,509
21	38615	4,587	34,736	1,541
22	63337	4,802	25,831	1,412
23	55418	4,744	27,906	1,446
24	39148	4,593	25,478	1,406
25	194415	5,289	14,517	1,162
26	280136	5,447	12,864	1,109

Fuente: El Autor

4.1.8.1 Relación T-vs-N probeta fibra larga

Con los datos que se obtuvo en la Tabla 4.4, se construyó el gráfico de temperatura vs número de ciclos, en la cual se puede apreciar claramente una relación logarítmica entre las variables, por lo cual se decide realizar una regresión lineal entre la temperatura y el logaritmo vulgar del número de ciclos.

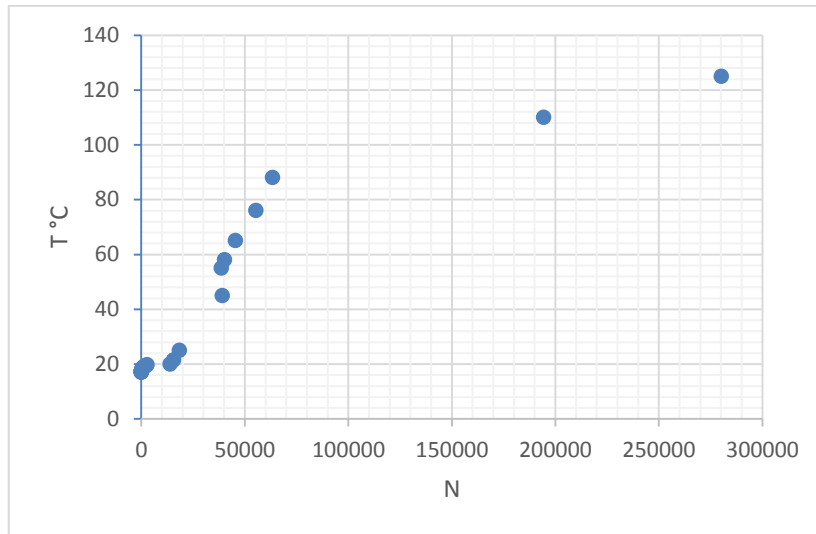


Figura 4-15 Relación temperatura VS número de ciclos probeta fibra larga

Fuente: El Autor

El gráfico que a continuación se muestra representa la distribución de temperaturas VS el logaritmo del número de ciclos para la probeta fibra larga.

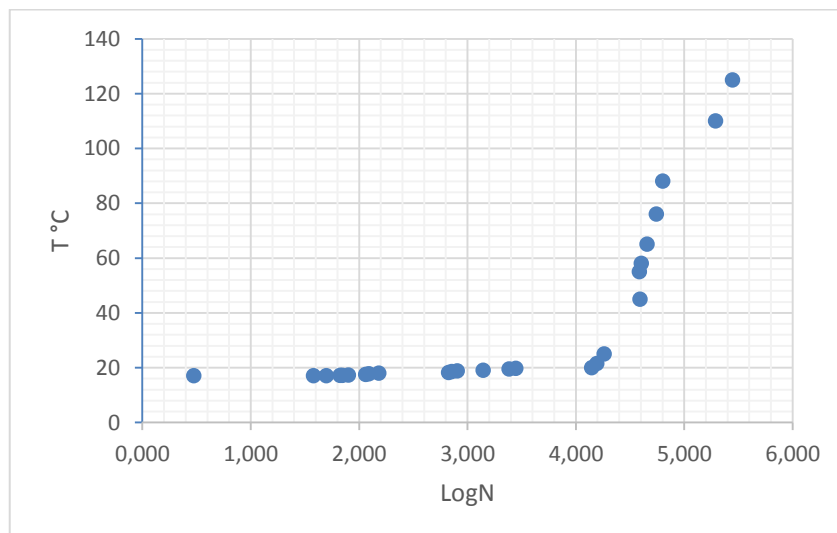



Figura 4-16 Relación temperatura VS log.N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

La regresión lineal de los datos es realizó según las Ecuaciones 4.10, 4.11 y las constantes se obtuvieron mediante las Ecuaciones 4.12, 4.13, los valores necesarios para la regresión se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 4-13 Datos para la regresión de T vs LogN probeta fibra larga

 REG: MC-007		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
Descripción: Regresión de T vs LogN probeta fibra larga							
Ni	Temp Ti [°C]	Xi=LogNi	Yi^2	Xi^2	Xi*Yi	Yical	(Yi-Yical)^2
3	17	0,477	289	0,228	8,111	29,649	159,990
50	17	1,699	289	2,886	28,882	51,213	1170,500
38	17	1,580	289	2,496	26,856	49,109	1030,994
67	17,1	1,826	292,41	3,335	31,226	53,456	1321,743
80	17,3	1,903	299,29	3,622	32,923	54,815	1407,374
70	17,2	1,845	295,84	3,404	31,736	53,792	1338,939
115	17,5	2,061	306,25	4,246	36,062	57,597	1607,732
152	18	2,182	324	4,760	39,273	59,735	1741,776
123	17,7	2,090	313,29	4,368	36,991	58,112	1633,130
670	18,2	2,826	331,24	7,987	51,435	71,104	2798,868
808	18,8	2,907	353,44	8,453	54,659	72,540	2887,966
1394	19	3,144	361	9,886	59,741	76,720	3331,585
2800	19,7	3,447	388,09	11,883	67,909	82,066	3889,461
2422	19,5	3,384	380,25	11,453	65,991	80,954	3776,590
13996	20	4,146	400	17,189	82,920	94,399	5535,235
15622	21,5	4,194	462,25	17,587	90,165	95,242	5437,819
18345	25	4,264	625	18,178	106,588	96,473	5108,405
40215	58	4,604	3364	21,200	267,055	102,489	1979,269
45518	65	4,658	4225	21,699	302,782	103,438	1477,509
38615	55	4,587	3025	21,038	252,272	102,178	2225,744
63337	88	4,802	7744	23,056	422,546	105,970	322,938
55418	76	4,744	5776	22,502	360,517	104,947	837,915
39148	45	4,593	2025	21,093	206,672	102,283	3281,326
194415	110	5,289	12100	27,971	581,760	114,567	20,854
280136	125	5,447	15625	29,674	680,921	117,366	58,273

Fuente: El Autor

Con los datos de esta tabla se procedió a calcular las constantes de la regresión semi-logarítmica, dichos datos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-14 Constantes de regresión para la probeta fibra larga

	Temp Ti [°C]	Log Ni
Medias	36,846	3,291
Constante b=	17,649	
Constante A=	21,228	

Fuente: El Autor

De esta manera la ecuación para la regresión queda como se cita a continuación:

$$T = 17,649 * \log N + 21,228 \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Los datos que se registraron en la Tabla 4.12, se deben corregir debido a la variación del módulo de elasticidad E con la temperatura, por lo tanto la ecuación que relacionan dichos parámetros se obtiene de la Ecuación 4.12.

$$Y = \frac{6,5 - 1,6}{17 - 120} * (X - 120) + 1,6$$

$$Y = -0,0476X + 7,309$$


Considerando la relación de módulos como un factor de corrección $k=E^*/E$, se tiene:

$$E^* = k * E = k = \frac{-0,0476T + 7,309}{7,309} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

4.1.8.2 Corrección del esfuerzo con la T para la fibra larga

Los valores de la Tabla 4.12 son corregidos de acuerdo al factor k según la temperatura correspondiente dichos datos corregidos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-15 Corrección del esfuerzo con la T probeta fibra larga

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
REG: MC-008							
Descripción: Corrección del esfuerzo con la temperatura probeta fibra larga							
Obs	Factor k	def2[m]	Carga P[N]	N	Log N	S [Mpa]	Log S
1	0,807	-0,0090	111,273	3	0,477	99,329	1,997
2	0,666	-0,0099	89,754	50	1,699	85,304	1,931
3	0,680	-0,0090	84,818	38	1,580	78,770	1,896
4	0,652	-0,0080	68,577	67	1,826	66,884	1,825
5	0,643	-0,0080	66,488	80	1,903	65,087	1,813
6	0,650	-0,0070	73,284	70	1,845	60,699	1,783
7	0,625	-0,0070	56,679	115	2,061	55,174	1,742
8	0,611	-0,0060	58,581	152	2,182	49,934	1,698
9	0,622	-0,0060	73,206	123	2,090	54,318	1,735
10	0,537	-0,0050	40,748	670	2,826	36,220	1,559
11	0,533	-0,0050	46,747	720	2,857	36,677	1,564
12	0,528	-0,0050	35,058	808	2,907	34,187	1,534
13	0,500	-0,0040	31,022	1394	3,144	27,146	1,434
14	0,466	-0,0040	32,020	2800	3,447	26,280	1,420
15	0,473	-0,0040	22,684	2422	3,384	24,171	1,383
16	0,385	-0,0030	25,629	13996	4,146	17,661	1,247
17	0,380	-0,0030	14,381	15622	4,194	14,521	1,162
18	0,372	-0,0030	16,523	18345	4,264	14,496	1,161
19	0,333	-0,0025	13,302	40215	4,604	11,459	1,059
20	0,326	-0,0025	9,683	45518	4,658	10,526	1,022
21	0,335	-0,0025	12,974	38615	4,587	11,622	1,065
22	0,310	-0,0020	8,304	63337	4,802	8,004	0,903
23	0,317	-0,0020	10,066	55418	4,744	8,833	0,946
24	0,334	-0,0020	8,514	39148	4,593	8,507	0,930
25	0,254	-0,0010	4,451	194415	5,289	3,686	0,567
26	0,236	-0,0010	2,922	280136	5,447	3,031	0,482

Fuente: El Autor

Estos datos son graficados para determinar la relación existente entre el esfuerzo en función del número de ciclos, así también la combinación del esfuerzo en función del logaritmo vulgar del número de ciclo y finalmente la relación que

existe entre los logaritmos mostrados en la tabla anterior, dichas gráficas se muestra a continuación:

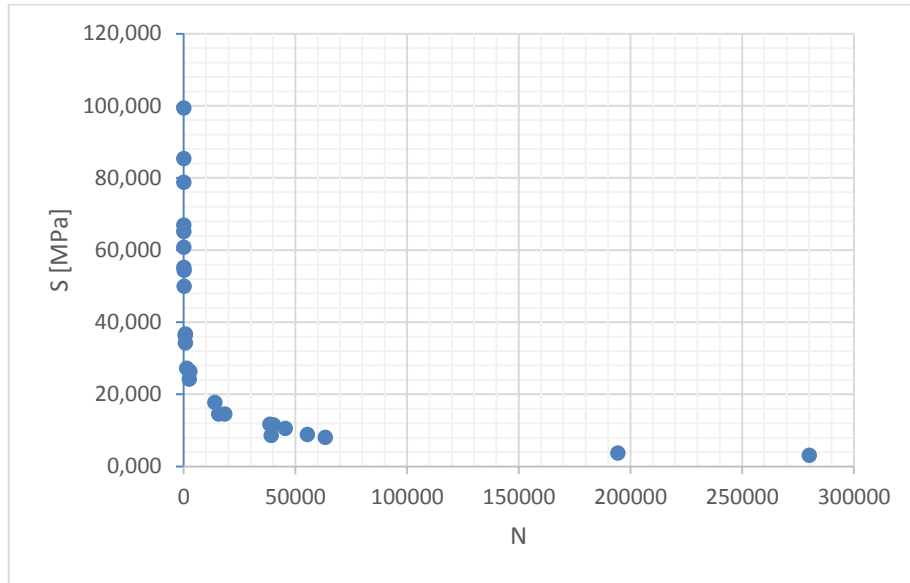


Figura 4-17 Relación S-VS-N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

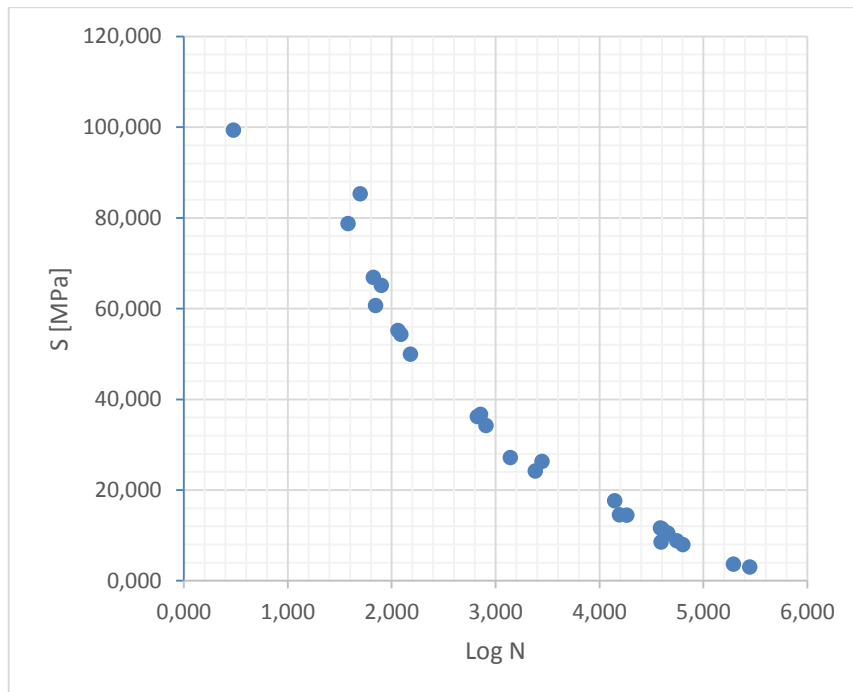


Figura 4-18 Relación S-VS-Log N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

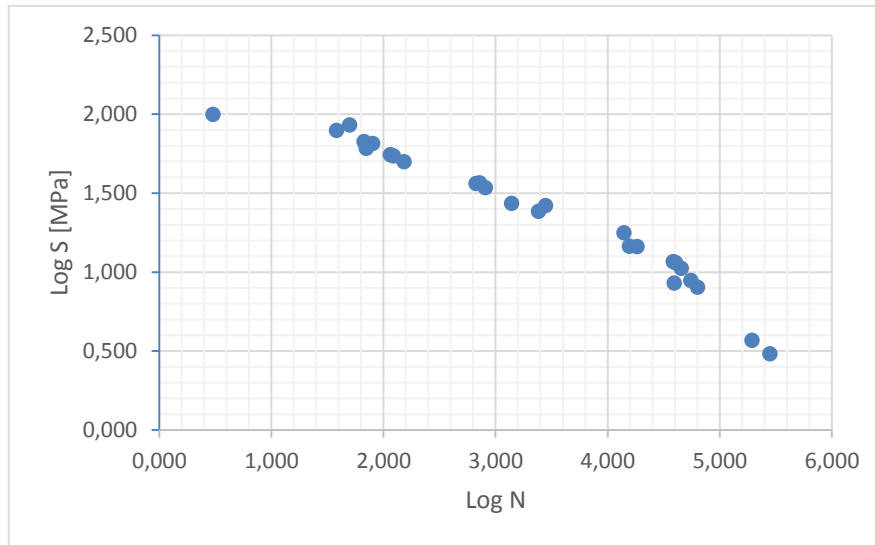



Figura 4-19 Relación Log S-VS-Log N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

4.1.8.3 Relación S-vs-N probeta fibra larga

Para realizar este tipo de relación se basa en la fórmula que expresa el esfuerzo en la probeta como función del número de ciclos según la Ecuación 4.19, los datos necesarios para la regresión se enlistan en la siguiente tabla:

Tabla 4-16 Datos para la regresión de S vs N probeta fibra larga

 FICM REG: MC-009		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA					
Descripción: Regresión de S vs N probeta fibra larga							
Ni	Si [Mpa]	Xi=logNi	Yi=logSi	Xi^2	Xi*Yi	Yicalc	(Yi-Yicalc)^2
3	99,329	0,477	1,997	0,228	0,953	1,231	0,586
50	85,304	1,699	1,931	2,886	3,281	1,296	0,404
38	78,770	1,580	1,896	2,496	2,996	1,289	0,368
67	66,884	1,826	1,825	3,335	3,333	1,302	0,274
80	65,087	1,903	1,813	3,622	3,451	1,306	0,257
70	60,699	1,845	1,783	3,404	3,290	1,303	0,230

Continuación. Tabla 4-16 Datos para la regresión de S vs N probeta fibra larga

115	55,174	2,061	1,742	4,246	3,589	1,315	0,182
152	49,934	2,182	1,698	4,760	3,706	1,321	0,142
123	54,318	2,090	1,735	4,368	3,626	1,316	0,175
670	36,220	2,826	1,559	7,987	4,406	1,355	0,042
720	36,677	2,857	1,564	8,164	4,470	1,356	0,043
808	34,187	2,907	1,534	8,453	4,460	1,359	0,031
1394	27,146	3,144	1,434	9,886	4,508	1,372	0,004
2800	26,280	3,447	1,420	11,883	4,894	1,387	0,001
2422	24,171	3,384	1,383	11,453	4,681	1,384	0,000
13996	17,661	4,146	1,247	17,189	5,170	1,424	0,031
15622	14,521	4,194	1,162	17,587	4,873	1,427	0,070
18345	14,496	4,264	1,161	18,178	4,951	1,430	0,072
40215	11,459	4,604	1,059	21,200	4,877	1,448	0,151
45518	10,526	4,658	1,022	21,699	4,762	1,451	0,184
38615	11,622	4,587	1,065	21,038	4,886	1,447	0,146
63337	8,004	4,802	0,903	23,056	4,337	1,459	0,308
55418	8,833	4,744	0,946	22,502	4,488	1,456	0,259
39148	8,507	4,593	0,930	21,093	4,270	1,448	0,268
194415	3,686	5,289	0,567	27,971	2,996	1,484	0,842
280136	3,031	5,447	0,482	29,674	2,624	1,492	1,022

Fuente: El Autor

Con los datos de esta tabla se procedió a calcular las constantes de la regresión semi-logarítmica, de acuerdo a las Ecuaciones 4.15, 4.16, dichos datos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4-17 Constantes de regresión para la probeta fibra larga

	Si [Mpa]	Log Ni	Log Si
Medias	35,097	3,291	1,379
Constante b=	-0,053		
Constante A=	1,206		

Fuente: El Autor

Reemplazando las constantes en la Ecuación 4.16 tenemos las siguientes ecuaciones tanto en la representada como en la logarítmica:

$$Y = 1,206 - 0,053 * X \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$\text{Log } S = 1,206 - 0,053 * \text{Log } N \quad \text{Ecuación 4.23}$$

$$A = \log a = a = 10^{1,206} = 16,069$$

Este valor reemplazando en la Ecuación 4.19 de la cual partiremos es como se muestra a continuación:

$$S = 16,069 * N^{-0,053} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

En la tabla siguiente se puede apreciar los valores que se obtuvieron aplicando la ecuación anterior.

Tabla 4-18 Constantes de regresión para la probeta fibra larga

Obs	S [Mpa]	Ni	Log Ni
1	15,160	3	0,477
2	13,060	50	1,699
3	13,251	38	1,580
4	12,859	67	1,826
5	12,739	80	1,903
6	12,829	70	1,845
7	12,496	115	2,061
8	12,313	152	2,182
9	12,452	123	2,090
10	11,382	670	2,826
11	11,338	720	2,857
12	11,269	808	2,907
13	10,948	1394	3,144
14	10,551	2800	3,447
15	10,632	2422	3,384

Continuación. Tabla 4-18 Constantes de regresión para la probeta fibra larga

16	9,688	13996	4,146
17	9,632	15622	4,194
18	9,550	18345	4,264
19	9,161	40215	4,604
20	9,101	45518	4,658
21	9,181	38615	4,587
22	8,943	63337	4,802
23	9,007	55418	4,744
24	9,174	39148	4,593
25	8,427	194415	5,289
26	8,266	280136	5,447

Fuente: El Autor

Las siguientes gráficas corresponden a los datos de la tabla anterior tanto a la gráfica de esfuerzos (S) respecto al número de ciclos (N) como la gráfica esfuerzo (S) versus Log N.

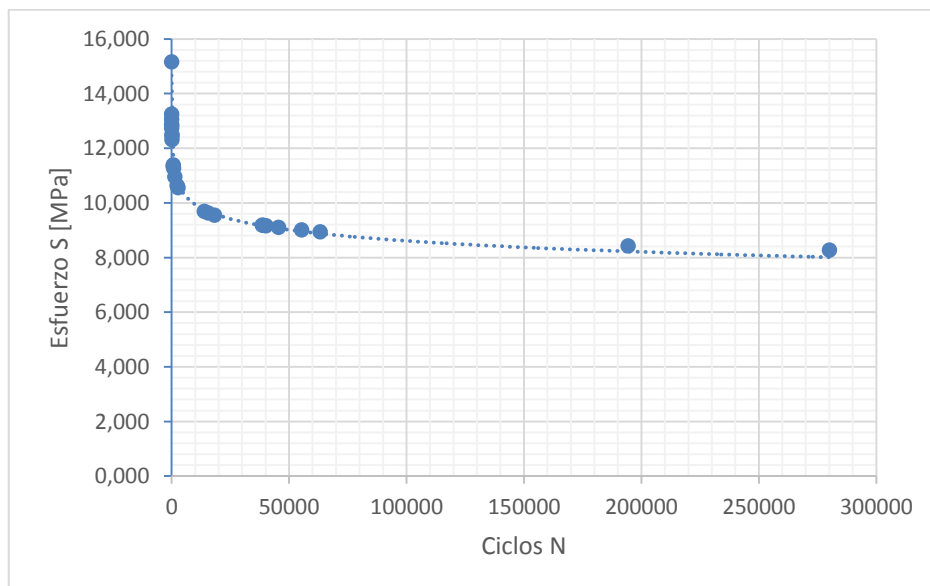


Figura 4-20 Relación S-VS-N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

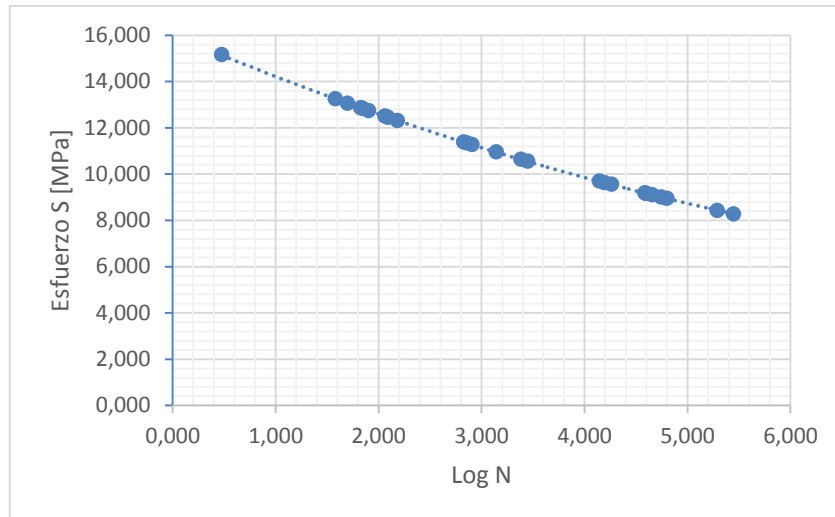


Figura 4-21 Relación S-VS-Log N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

4.2 DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de haber tabulado los resultados obtenidos de los ensayos y graficados los mismos, se analizaron los resultados obtenidos versus los esperados mediante el método estadístico chi-cuadrado tanto para la probeta fibra corta como para la fibra larga, como se sabe esta distribución es adecuada para muestras pequeñas que no tengan más de 30 muestras, la fórmula del chi-cuadrado es como se muestra a continuación:

$$X^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Dónde:

Por facilidad y para tener congruencia con nuestras variables se realiza la siguiente igualdad:

X^2 = Chi-cuadrado.

O = Log $N_{i_{obs}}$ = Frecuencia observada.

E = Log $N_{i_{esp}}$ = Frecuencia esperada o técnica.

Reemplazando estas igualdades en la Ecuación 4.25 tenemos:

$$X^2 = \sum \frac{(\text{Log}N_{i_{obs}} - \text{Log}N_{i_{esp}})^2}{\text{Log}N_{i_{esp}}} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

4.2.1 FRECUENCIA ESPERADA PARA LA FIBRA CORTA

Para determinar la frecuencia esperada se basó en la Figura 4.14, el análisis se tomó en cuenta el número de ciclos N hasta la falla observado en la cual se tiene para cada $N_{i_{obs}}$ su respectivo esfuerzo S_{calcul} , con estos datos se determinó el valor del número de ciclos esperado $N_{i_{esp}}$ por lo tanto la ecuación que relacionan dichos parámetros se obtiene de la ecuación de la recta, Ecuación 4.12.

Dónde:

Y= Representa el logaritmo del número de ciclos hasta la falla $\text{Log}N_{i_{obs}}$.

X= Esfuerzos calculados hasta la falla S_{calcul} .

$$Y = \frac{5,266 - 0,301}{7,706 - 20,836} * (X - 20,836) + 0,301$$

$$Y = -0,378 * X + 8,17996 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Los valores encontrados mediante la Ecuación 4.27 para la frecuencia esperada son tabulados a continuación:

Tabla 4-19 Frecuencia esperada probeta fibra corta

Obs	S_{calcul} [Mpa]	$\text{Log}N_{i_{obs}}$	$\text{Log}N_{i_{esp}}$
1	20,836	0,301	0,304
2	19,239	0,699	0,907
3	18,469	0,903	1,199
4	16,614	1,431	1,900
5	17,486	1,176	1,570
6	17,210	1,255	1,674

Continuación. Tabla 4-19 Frecuencia esperada probeta fibra corta

7	15,987	1,623	2,137
8	15,617	1,740	2,277
9	15,803	1,681	2,207
10	15,693	1,716	2,248
11	15,923	1,643	2,161
12	15,667	1,724	2,258
13	15,433	1,799	2,346
14	14,865	1,987	2,561
15	14,425	2,137	2,727
16	13,043	2,639	3,250
17	12,564	2,826	3,431
18	12,317	2,925	3,524
19	11,434	3,297	3,858
20	11,335	3,340	3,895
21	11,241	3,382	3,931
22	10,623	3,664	4,165
23	10,876	3,546	4,069
24	8,433	4,816	4,992
25	7,968	5,099	5,168
26	7,706	5,266	5,267

Fuente: El Autor

4.2.2 CHI-CUADRADO PARA LA PROBETA FIBRA CORTA

Se procedió a calcular las variables de la Ecuación 4.26 para determinar el chi-cuadrado, dichas variables se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 4-20 Cálculo del chi-cuadrado probeta fibra corta

Obs	S _{calcul} [MPa]	LogNi _{obs}	LogNi _{esp}	(LogNi _{obs} - LogNi _{esp})	(LogNi _{obs} - LogNi _{esp}) ²	[(LogNi _{obs} - LogNi _{esp}) ²]/LogNi _{esp}
1	20,836	0,301	0,304	-0,003	8,8504E-06	2,91127E-05
2	19,239	0,699	0,907	-0,209	0,043	0,048
3	18,469	0,903	1,199	-0,296	0,087	0,073
4	16,614	1,431	1,900	-0,469	0,220	0,116
5	17,486	1,176	1,570	-0,394	0,155	0,099
6	17,210	1,255	1,674	-0,419	0,176	0,105
7	15,987	1,623	2,137	-0,513	0,264	0,123
8	15,617	1,740	2,277	-0,536	0,288	0,126
9	15,803	1,681	2,207	-0,525	0,276	0,125
10	15,693	1,716	2,248	-0,532	0,283	0,126
11	15,923	1,643	2,161	-0,518	0,268	0,124
12	15,667	1,724	2,258	-0,534	0,285	0,126
13	15,433	1,799	2,346	-0,547	0,299	0,127
14	14,865	1,987	2,561	-0,574	0,330	0,129
15	14,425	2,137	2,727	-0,591	0,349	0,128
16	13,043	2,639	3,250	-0,610	0,373	0,115
17	12,564	2,826	3,431	-0,605	0,366	0,107
18	12,317	2,925	3,524	-0,599	0,359	0,102
19	11,434	3,297	3,858	-0,561	0,315	0,082
20	11,335	3,340	3,895	-0,555	0,308	0,079
21	11,241	3,382	3,931	-0,549	0,302	0,077
22	10,623	3,664	4,165	-0,501	0,251	0,060
23	10,876	3,546	4,069	-0,522	0,273	0,067
24	8,433	4,816	4,992	-0,176	0,031	0,006
25	7,968	5,099	5,168	-0,069	0,005	0,001
26	7,706	5,266	5,267	-0,001	5,78746E-07	1,0988E-07
CHI-CUADRADO X²					=	2,27

Fuente: El Autor

Mediante la Ecuación 4.25 se realizó el cálculo del chi-cuadrado cuyo valor es:

$$X^2 = 2,27$$

4.2.3 GRADO DE SIGNIFICANCIA PARA LA FIBRA CORTA

El modelo lógico representa la toma o la aprobación de la hipótesis es decir que si se aprueba la hipótesis nula significa que existe suficiente evidencia para establecer que la diferencia entre los datos obtenidos en los ensayos tienen mucha diferencia con los esperados, por lo tanto no se los podrá utilizar en diseño mecánico de elementos de máquinas o en piezas estructurales.

Hipótesis alterna (Ha) = Hipótesis sí. $H_a < 0$

Hipótesis nula (Ho) = Hipótesis no. $H_o > 0$

Para determinar una comparación con el valor de chi-cuadrado se debe leer en tablas el valor o el nivel de la significancia para lo cual se calculó el grado de libertad mediante la ecuación siguiente:

$$GL = n - 1 \qquad \text{Ecuación 4.28}$$

$$GL = 25$$

Nivel de significación (P): Denominado nivel de confianza. Este valor es fijado por el investigador, usualmente es toma entre 5 o 10 %. Lo que indica que si se toma $P=0.05$, esto significa que solo en un 5 % de las veces en que se realice la medición el resultado obtenido podría deberse al azar. De lo contrario existiría un nivel de confianza del 95 % es decir el resultado es real y no debido a la casualidad. Para esta investigación se tomó un nivel de confiabilidad = 95 %, por tanto el grado de significancia será 0.05.

Valores críticos de chi-cuadrado

La Tabla del Anexo 1 muestra los valores X^2 que corresponden a un área específica de la extremidad de la derecha que corresponde a un número determinado de grados de libertad, es así para un grado de libertad $GL=25$ y con un nivel de significancia del 0,05 tenemos un $X^2_{\text{tab}} = 37,65$.

4.2.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS FIBRA CORTA

Para un grado de libertad de 25 y un nivel de significancia de 0,05 se tiene un $X^2_{\text{tab}} = 37,65$, mientras que el valor de chi-cuadrado $X^2_{\text{cal}} = 2,27$, esto significa que $X^2_{\text{tab}} > X^2_{\text{cal}}$; $37,65 > 2,27$, el método establece que se debe rechazar la hipótesis nula H_0 y se acepta H_a , por lo tanto para un nivel de significancia del 0,05 es factible o se pueden utilizar en diseños mecánicos con la probeta fibra larga, divido que el valor de chi-cuadrado se encuentra dentro del rango permitido $X^2_{\text{tab}} = 37,65$.

En la siguiente figura se puede observar las dos curvas la azul es la curva que me indica los valores calculados, mientras que la roja muestra los valores esperados, en relación a estas dos curvas podemos decir que no existe demasiada variación entre los valores calculados con los esperados debido a la cercanías de las dos curvas.

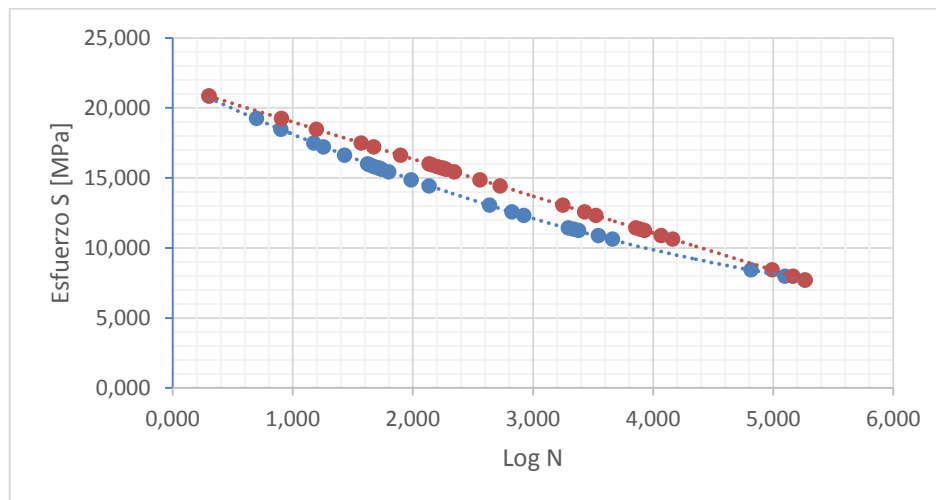


Figura 4-22 Curvas comparativas S VS Log N probeta fibra corta

Fuente: El Autor

4.2.5 FRECUENCIA ESPERADA PARA LA FIBRA LARGA

Para determinar la frecuencia esperada se basó en la Figura 4.21, el análisis se tomó en cuenta el número de ciclos N hasta la falla observado en la cual se tiene para cada $N_{i_{\text{obs}}}$ su respectivo esfuerzo S_{calcul} , con estos datos se determinó el valor

del número de ciclos esperado $N_{i\text{esp}}$ por lo tanto la ecuación que relacionan dichos parámetros se obtiene de la ecuación de la recta, Ecuación 4.12.

$$Y = \frac{5,447 - 0,477}{8,266 - 15,16} * (X - 15,16) + 0,477$$

$$Y = -0,721 * X + 11,406 \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Los valores encontrados mediante la Ecuación 4.29 para la frecuencia esperada son tabulados a continuación:

Tabla 4-21 Frecuencia esperada probeta fibra larga

Obs	S _{calcul} [Mpa]	LogNi _{obs}	LogNi _{esp}
1	15,160	0,477	0,476
2	13,060	1,699	1,990
3	13,251	1,580	1,852
4	12,859	1,826	2,135
5	12,739	1,903	2,221
6	12,829	1,845	2,156
7	12,496	2,061	2,396
8	12,313	2,182	2,529
9	12,452	2,090	2,428
10	11,382	2,826	3,200
11	11,338	2,857	3,231
12	11,269	2,907	3,281
13	10,948	3,144	3,512
14	10,551	3,447	3,799
15	10,632	3,384	3,740
16	9,688	4,146	4,421
17	9,632	4,194	4,461
18	9,550	4,264	4,520
19	9,161	4,604	4,801
20	9,101	4,658	4,844
21	9,181	4,587	4,786
22	8,943	4,802	4,958
23	9,007	4,744	4,912
24	9,174	4,593	4,791
25	8,427	5,289	5,330
26	8,266	5,447	5,446

Fuente: El Autor

4.2.6 CHI-CUADRADO PARA LA PROBETA FIBRA LARGA

Se procedió a calcular las variables de la Ecuación 4.26 para determinar el chi-cuadrado, dichas variables se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 4-22 Cálculo del chi-cuadrado probeta fibra larga

Obs	S _{calcul} [MPa]	LogNi _{obs}	LogNi _{esp}	(LogNi _{obs} - LogNi _{esp})	(LogNi _{obs} - LogNi _{esp}) ²	[(LogNi _{obs} - LogNi _{esp}) ² /LogNi _{esp}
1	15,160	0,477	0,476	0,002	2,363E-06	4,9686E-06
2	13,060	1,699	1,990	-0,291	0,085	0,042
3	13,251	1,580	1,852	-0,272	0,074	0,040
4	12,859	1,826	2,135	-0,309	0,095	0,045
5	12,739	1,903	2,221	-0,318	0,101	0,046
6	12,829	1,845	2,156	-0,311	0,097	0,045
7	12,496	2,061	2,396	-0,336	0,113	0,047
8	12,313	2,182	2,529	-0,347	0,120	0,048
9	12,452	2,090	2,428	-0,339	0,115	0,047
10	11,382	2,826	3,200	-0,374	0,140	0,044
11	11,338	2,857	3,231	-0,374	0,140	0,043
12	11,269	2,907	3,281	-0,373	0,139	0,043
13	10,948	3,144	3,512	-0,368	0,135	0,039
14	10,551	3,447	3,799	-0,352	0,124	0,033
15	10,632	3,384	3,740	-0,356	0,127	0,034
16	9,688	4,146	4,421	-0,275	0,075	0,017
17	9,632	4,194	4,461	-0,268	0,072	0,016
18	9,550	4,264	4,520	-0,257	0,066	0,015
19	9,161	4,604	4,801	-0,196	0,039	0,008
20	9,101	4,658	4,844	-0,186	0,035	0,007
21	9,181	4,587	4,786	-0,200	0,040	0,008
22	8,943	4,802	4,958	-0,156	0,024	0,005
23	9,007	4,744	4,912	-0,168	0,028	0,006
24	9,174	4,593	4,791	-0,199	0,039	0,008
25	8,427	5,289	5,330	-0,041	0,002	0,000
26	8,266	5,447	5,446	0,001	8,4681E-07	1,5548E-07
CHI-CUADRADO X² =						0,684

Fuente: El Autor

Mediante la ecuación 4.25 se realizó el cálculo del chi-cuadrado cuyo valor es:

$$X^2 = 0,684$$

4.2.7 GRADO DE SIGNIFICANCIA PARA LA FIBRA LARGA

Para determinar una comparación con el valor de chi-cuadrado se debe leer en tablas el valor o el nivel de la significancia para lo cual se calculó el grado de libertad mediante la Ecuación 4.28.

$$GL = 25$$

Valores críticos de chi-cuadrado

La Tabla del Anexo 1 muestra los valores X^2 que corresponden a un área específica de la extremidad de la derecha que corresponde a un número determinado de grados de libertad, es así para un grado de libertad $GL=25$ y con un nivel de significancia del 0,05 tenemos un $X^2_{tab}= 37,65$.

4.2.8 VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS FIBRA LARGA

Para un grado de libertad de 25 y un nivel de significancia de 0,05 se tiene un $X^2_{tab}= 37,65$, mientras que el valor de chi-cuadrado $X^2_{cal}= 0,684$, esto significa que $X^2_{tab} > X^2_{cal}$; $37,65 > 0,684$, el método establece que se debe rechazar la hipótesis nula H_0 y se acepta H_a , por lo tanto para un nivel de significancia del 0,05 es factible o se pueden utilizar en diseños mecánicos con la probeta fibra larga, divido que el valor de chi-cuadrado se encuentra dentro del rango permitido $X^2_{tab}= 37,65$.

En la siguiente figura se puede observar las dos curvas la azul es la curva que me indica los valores calculados, mientras que la roja muestra los valores esperados, en relación a estas dos curvas podemos decir que no existe demasiada variación entre los valores calculados con los esperados debido a la cercanías de las dos curvas, es decir se encuentra dentro del rango permitido, con la cual también muestra claramente que el material que se está investigando se puede utilizar en diseños mecánicos.

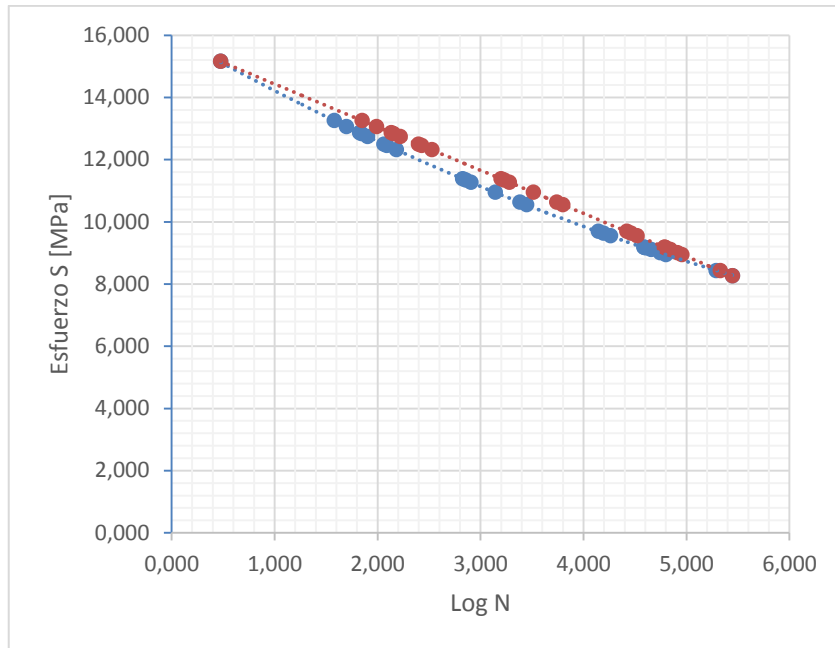


Figura 4-23 Curvas comparativas S VS Log N probeta fibra larga

Fuente: El Autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del análisis realizado en el capítulo anterior, mediante la revisión de la información del marco teórico y el análisis de los datos recolectados en los ensayos, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se determinó la configuración del refuerzo con fibra de cabuya la misma que fue para la probeta de fibra larga a cero grados es decir alineadas en la dirección paralela al eje longitudinal de la carga a soportar, mientras que para la probeta de fibra corta se utilizó una alineación totalmente al azar, por la complejidad de alinearlas en dirección paralela dentro del molde, como se muestra en la Figura 2.19.

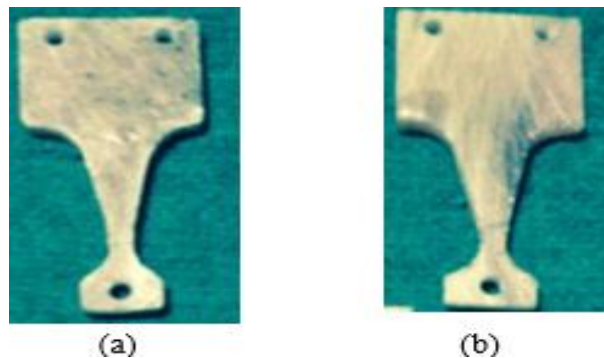


Figura 5-1 Probetas con fibra alineadas al azar y longitudinal

Fuente: El Autor

- Se realizó el análisis de la selección del tipo de fibra de cabuya, la misma que fue la fibra larga, debido a que la probeta de fibra larga soporta un mayor esfuerzo en comparación con la probeta de fibra corta, esto se corrobora con el análisis del chi-cuadrado realizado, ver literales 4.2.4 y 4.2.8.

- Se determinó la fracción volumétrica del material compuesto siendo del 30% de la fibra de cabuya y 70 % de matriz de resina poliéster como se especifica en el literal 4.1.5.
- Se determinó el proceso de obtención de las probetas para el ensayo a fatiga mecánica por flexión de los materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz de resina poliéster (70%), la misma que fue mediante la conformación por molde de compresión como lo especifica el literal 2.1.2.16, las probetas fueron preparados según la norma ASTM E466, D671, la cual especifica los especímenes usados en las pruebas de fatiga axiales.
- Se identificó que la temperatura influye directamente en la resistencia a fatiga por flexión, de acuerdo a los datos tomados en los ensayos, las mismas que se muestran en la Tabla 4.4, tanto para la probeta de fibra corta como para la probeta de fibra larga, esto se debe a que los materiales plásticos tienen una baja conductividad térmica, esto dificulta una disipación rápida del calor, esto se observó en los ensayos a un numero de ciclos altos antes de que la probeta falle el lugar donde se va a romper cambia de color por las altas temperatura que se encuentra la probeta.
- Los valores del esfuerzo que pueden soportar la probeta de fibra larga son lo suficientemente altos para la utilización en construcción de piezas mecánicas, así también en la construcción de partes de vehículos, buses, mobiliaria.
- En los ensayos se observó que las probetas de fibra corta y fibra larga, la falla es por una combinación de esfuerzos mecánicos y térmicos ya que presenta una fractura y no presenta una deformación del material como se muestra en la figura siguiente:



Figura 5-2 Forma de la ruptura de la probeta

- Se evaluó los datos esperados con los calculados mediante el método del chi-cuadrado, la cual establece que son muy similares como lo muestra en la Figura 4.22 y 4.23, para las respectivas probetas, con lo cual la máquina en la que se realizó el ensayo tiene una confiabilidad del 95 % como se indica en el literal 4.2.3.

5.2 RECOMENDACIONES

Con la finalización de este análisis realizado en la presente investigación, se ha puesto en consideración las siguientes recomendaciones:

- Se debe tomar en cuenta la orientación de la fibra al momento de realizar el tendido de la misma, ya que tiene una influencia significativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales compuestos, cuando se trabajan con fibras continuas y alineadas las propiedades mecánicas dependen mucho del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y dirección de la fibra.
- Tomar en consideración el tipo de fibra que se vaya a utilizar para la construcción de elementos mecánicos, ya que si se requiere que la pieza a construir tenga una alta resistencia mecánica en toda la superficie se debe utilizar una fibra del tipo corta, la misma que ofrece una resistencia en toda su longitud, mientras que al trabajar con fibras largas, posibilita a que los extremos de una fibra soporten menos cargas que el resto.
- Se recomienda ensayar por lo menos dos probetas más al número que establece la norma correspondiente, esto se debe hacer para no tener datos anómalos en la evaluación.
- Para la construcción de piezas se debe tomar en cuenta el peso y el espesor que se requiere alcanzar, ya que de esto dependerá el número de capas o el diámetro de la fibra de cabuya a utilizar, cabe recalcar que al utilizar un diámetro demasiado pequeño la fibra tendrá menor área superficial en consecuencia hay menos defectos que pueden propagarse durante el proceso o al aplicar la carga.

- Es necesario mayores estudios sobre tracción, flexión e impacto de este tipo de material compuesto, para establecer su resistencia y su utilización así también es necesario mayores estudios sobre fatiga de estos materiales, para la compresión del efecto de la elevación de temperatura sobre el módulo de elasticidad y la vida en fatiga y su degradación además de otros parámetros no citados en este estudio.
- Que se fabrique un asiento de bus urbano en base a este estudio realizado, para determinar su resistencia, la complejidad, los tiempos, y lo más importante el costo de construcción.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Diseño y construcción de un asiento para un bus urbano mediante la utilización de fibra de cabuya (30%) y matriz de resina poliéster (70%).

6.1 DATOS INFORMATIVOS

El presente estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) se lo realizó en la provincia de Tungurahua en la ciudad de Ambato, específicamente en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi. Por tratarse de un material compuesto, los datos básicos para la ejecución de esta propuesta son los obtenidos en el Capítulo 4, tales como las distribuciones, la orientación de la fibra, la fracción volumétrica y la variación del módulo de elasticidad con la temperatura, además se establece la fibra de cabuya es producida en la provincia de Tungurahua, mientras que la resina poliéster es fabricada por Poliquim C.A, que es diluida con estireno monómetro, se utiliza octoato de cobalto al 12 % y como catalizador peróxido de metil-etil-cetona o conocido como meck al 1 %.

El asiento de un bus urbano será construida mediante un molde partido como se muestra en el literal 2.1.2.16, la misma que se construirá en base a fibra de vidrio con resina poliéster, reforzado con una estructura para unir las dos tapas, dicho proceso se detalla en literales posteriores del presente capítulo.

Además se establece que la fibra utilizada en la construcción del asiento es la fibra larga de cabuya, esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya la misma que es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles, laderas de los Andes y pertenece a la familia de los agaváceas, la cabuya es ampliamente distribuida en

la sierra del Ecuador ésta se encuentra en la provincia de Tungurahua, la misma que es producida por los artesanos de la zona de Salasaca, en esta zona se encuentra plantaciones de cabuya que alcanzan los 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y se incluye la estructura reproductora, la fibra de cabuya es resistente, durable de superficie áspera. Por otra parte, la matriz del material compuesto empleada es resina poliéster insaturada, fabricada por Poliquim C.A., la misma que es diluida con estireno monómero. Como iniciador del proceso de curado de la resina, se utiliza octoato de cobalto al 12 % y como catalizador peróxido de metil-etil-cetona (meck) al 1 %.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Considerando el adelanto tecnológico ya que hoy en día existe a nivel mundial la utilización de materiales compuestos, entre las fibras más utilizadas para la elaboración de estos materiales compuestos están el coco, abacá, lana, cabuya, las mismas que están siendo utilizados en la fabricación de elementos de máquinas como partes constitutivas de la estructura, con el fin de disminuir costos, peso protección ambiental, ya que con estos tipos de materiales compuestos con fibras naturales se pretende dejar de usar fibras conocidas como la de vidrio, carbono y kevlar que tienen un alto grado de agentes contaminantes y un alto costo de adquisición.

Existen proyectos de investigación relacionados a la utilización de materiales compuestos de origen, es así que el departamento de Ciencia de Materiales de la Universidad Politécnica de Madrid L.P. Canal, J. Llorca, en los informes de la Mecánica de Fractura, Vol. 1 (2007), consta un trabajo bajo el nombre del “Estudio del comportamiento mecánico hasta la rotura de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados por fibras unidireccionales mediante técnicas micro mecánicas computacionales”, dicha investigación concluye que la resistencia mecánica de un material compuesto depende de la orientación de la fibra y del número de capas con el que está compuesto.

También otro estudio realizado en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, realizado por el Sr. Erasmo Correa Gómez, propone el “Estudio sobre la

resistencia a la fatiga ultrasónica de plásticos industriales (poliamida nylomaq)", en la que concluye que la durabilidad del material con aproximadamente entre el 9 al 11 % del límite de fluencia es de 5.6×10^8 a 2.9×10^9 ciclos.

Por último un estudio de tesis realizado en el Centro de Estudios de Posgrado Maestría en Diseño Mecánico de la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica realizado por el Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, propone el "Estudio del comportamiento a fatiga mecánica del teflón y nylon para determinar la relación esfuerzo- número de ciclos bajo la aplicación de cargas variables y su influencia en el diseño de máquinas," determinó que el nylon se puede utilizar como elementos de máquinas mientras que el teflón no se puede utilizar como elementos de máquinas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

En el país se están desarrollando varios tipos de materiales compuestos, para lo cual es deseable la incorporación de fibras naturales con el fin de sustituir en algunas aplicaciones a la fibra de vidrio, carbono, kevlar y para formar materiales compuestos de fibra natural.

De esta forma, se propone en dar un valor agregado a los recursos naturales que podemos encontrar en nuestro medio para no limitarse a la producción de bienes artesanales y exportación de fibras, sino en tecnificar la obtención de elementos mecánicos o accesorios para las diferentes necesidades y aplicaciones que se requieren en diferentes campos, además de generar nuevas alternativas de materiales con mejores características ya sea en la construcción de partes mecánicas como en accesorios de autobuses como son asientos, guarda choques, mesas, esta investigación propone construir partes de una asiento que se pueda ensamblar a una estructura metálica y así poner en evidencia que se puede ir remplazando a las fibras comunes por las fibras naturales y realizar un procedimiento en el cual se pueda seguir a fin de obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia, estética, seguridad y ergonomía siguiendo las normas de diseño.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño y construcción de un asiento de bus urbano mediante la utilización de fibra de cabuya (30%) y matriz de resina poliéster (70%).

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros necesarios para el diseño del asiento.
- Modelar el asiento mediante la utilización de un software para su posterior análisis de resistencia.
- Realizar análisis estático, deflexión mediante un software para poder establecer el espesor, ubicación de refuerzos y la resistencia del asiento al aplicar el peso de una persona.
- Establecer el procedimiento de construcción del asiento con la utilización de los materiales mencionados en el capítulo 4.
- Analizar los costos para la construcción del asiento en materiales conformados por resina poliéster y fibra de cabuya.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El diseño y construcción de un asiento en materiales compuestos con resina poliéster y fibra de cabuya es totalmente factible, debido a que se cuenta con una buena información técnica relacionada al uso de estos productos, esta información permitirá a los trabajadores de talleres tener la idea clara para realizar la construcción de dicha pieza.

En cuanto al análisis de factibilidad relacionado a lo económico, se determinó que los costos de los materiales e insumos requeridos para la construcción del asiento son moderados e incluso dependiendo del número de pedidos del producto, este puede ir bajando su costo, esto es debido a que el asiento será construido mediante un molde, además que los productos requeridos se encuentran dentro de la provincia con lo cual se abarata los costos, cabe recalcar que todo lo relacionado a lo económico en la presente investigación será sustentado por el autor. Además

todos los materiales requeridos para la construcción del asiento se puede encontrar con facilidad en el mercado nacional, también la materia prima como es la fibra de cabuya se encuentra en la provincia de Tungurahua específicamente en la zona de Salasaca dicho producto es cultivada por los artesanos del sector, por lo cual este material se encuentra en gran cantidad y aun precio relativamente bajo.

Finalmente los recursos humanos e instrumentos que fueron facilitados por el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, sumado a esto los moldes del asiento para el proceso de construcción fueron fabricados tomando la base de un asiento de plástico mediante fibra de vidrio con resina poliéster, dichos moldes está conformado por dos partes, la parte uno corresponde a la parte posterior mientras que la parte dos corresponde a la parte superior del asiento estas superficies son totalmente lisas ya que de esta depende lograr un buen producto, para obtener el producto terminado se lamina las caras lisas y se ensambla las dos tapas mediante el uso de la misma resina poliéster, se desmolda y se inspecciona el asiento para poder corregir las fallas y obtener el asiento terminado.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 MOLDES

El molde o matriz es el dispositivo que se utilizó para la fabricación del asiento, las mismas que fueron fabricados en resina poliéster reforzado con fibra de vidrio, tomando el modelo del asiento de plástico, el tipo de molde que se construyó fue del tipo partido, se estableció realizar en dos partes como se muestra en la Figura 6.15, estas dos partes fueron ensamblados mediante pegamento conformado con la misma resina y rellenados las hendiduras con masilla, la superficie de estos moldes tienen un acabado muy fino ya que de esta superficie depende la calidad del producto final.

6.6.2 REFUERZOS

Durante el proceso de fabricación del molde se observó que es necesario el uso de refuerzos o estructura la misma que fue conformado por tubería, perfil de acero y en lugares se colocó la misma fibra de vidrio, esto impide la deformación del molde durante el proceso del laminado de la pieza a construir.

6.6.3 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA PARA EL ASIENTO

Se determinó la fracción volumétrica para la construcción del asiento según los requerimientos de 70 % matriz conformado por la resina poliéster y 30 % de fibra de cabuya, se realizó el procedimiento situado en el Capítulo cuatro literal 4.1.5, para lo cual los datos de V_c que es el volumen total que se requiere para la construcción del asiento se obtuvo mediante el software, también los valores de las masas tanto para la matriz como para el refuerzo se obtuvieron mediante la Ecuación 4.3.

6.6.4 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ASIENTO

Este análisis sirve para determinar la resistencia del asiento, para lo cual se establece el siguiente informe que se obtiene del análisis realizado mediante un software.

1) Procedimiento del análisis

Para realizar este análisis se establecieron el peso que va a soportar el asiento la misma que es de 85 kg, este valor se tomó de acuerdo al valor del percentil 95 para hombres y el 5 percentil para mujeres, a este peso se le agrego un factor de seguridad de 3 debido a que las personas tenemos diferentes pesos y se debe prever el tipo de persona que va a utilizar, tomando esta consideración se tiene un peso a aplicar al asiento de 255 kg, el percentil se tomó de acuerdo al estudio realizado por José Luis Melo en su obra titulado Guía Práctica de Ergonomía.

2) Modelo

El modelo utilizado para el análisis es el asiento sin su soporte, ya que se tomó en consideración que solo el asiento conformado por la fibra de cabuya y resina poliéster debe resistir el peso de una persona.



Figura 6-1 Asiento de un bus urbano

Fuente: El Autor

3) Designación y aplicación de propiedades del material

El material utilizado está compuesto por resina poliéster más fibra larga de cabuya dichas propiedades tanto para del modelo como del material se muestran a continuación:

Tabla 6-1 Propiedades del material y del modelo

Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	8080	MPa
Coefficiente de poisson	0,33	N/D
Modulo cortante	112	MPa
Densidad de masa	1229,6	Kg/m ³
Límite de tracción	305	MPa
Masa del asiento	2,4632	kg
Volumen de asiento	0,00200325	m ³
Peso	24,1393	N

Fuente: El Autor

El valor del coeficiente de poisson es tomado del Anexo 11, este valor se tomó de acuerdo al estudio del Ing. Hamilton Quirós en su obra titulada Propiedades de Materiales Compuestos, el valor del módulo de elasticidad se tomó del literal 4.1.6 del Capítulo IV.

4) Cargas y sujeciones aplicadas

Tabla 6-2 Cargas y sujeciones aplicadas al asiento para el análisis estático

Nombre	Imagen	Detalles
Sujeción. Fijo-1		Entidades: 4 caras. Tipo: Geometría fija.
Carga Fuerza-1		Entidades: 1 cara. Tipo: Aplicar fuerza. Valor: -60 kgf.
Carga Fuerza-2		Entidades: 1 cara. Tipo: Aplicar fuerza normal. Valor: 255 kgf.

Fuente: El Autor

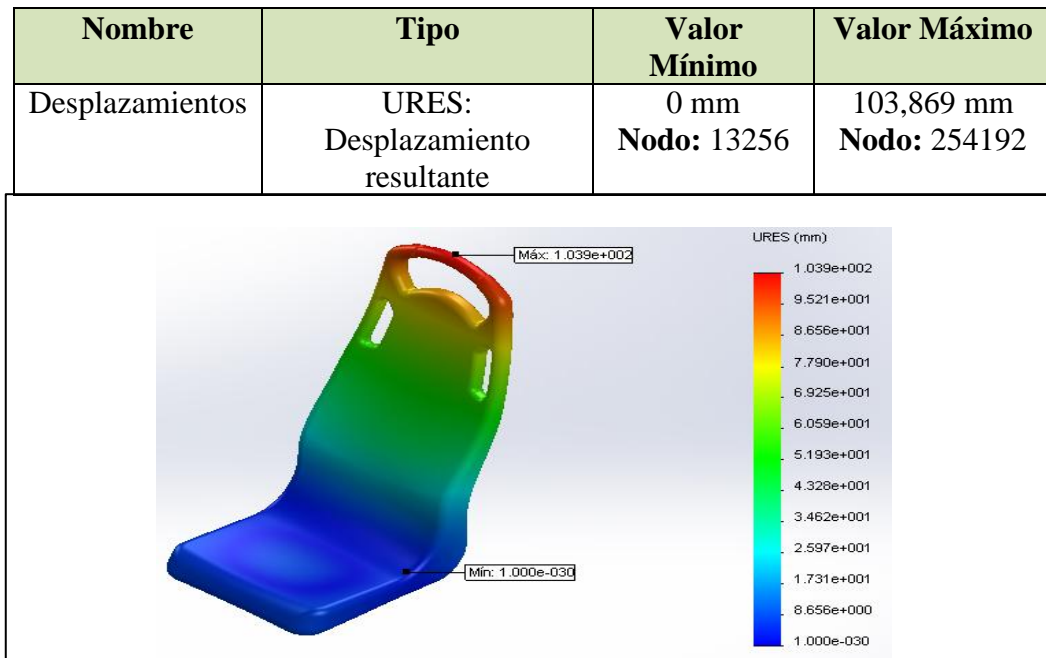
5) Análisis reacciones y deformaciones

Tabla 6-3 Reacciones del análisis estático

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	-9,86285	2536,85	1521,38	2958,09
Momento de reacción (N-m)	0	0	0	0

Fuente: El Autor

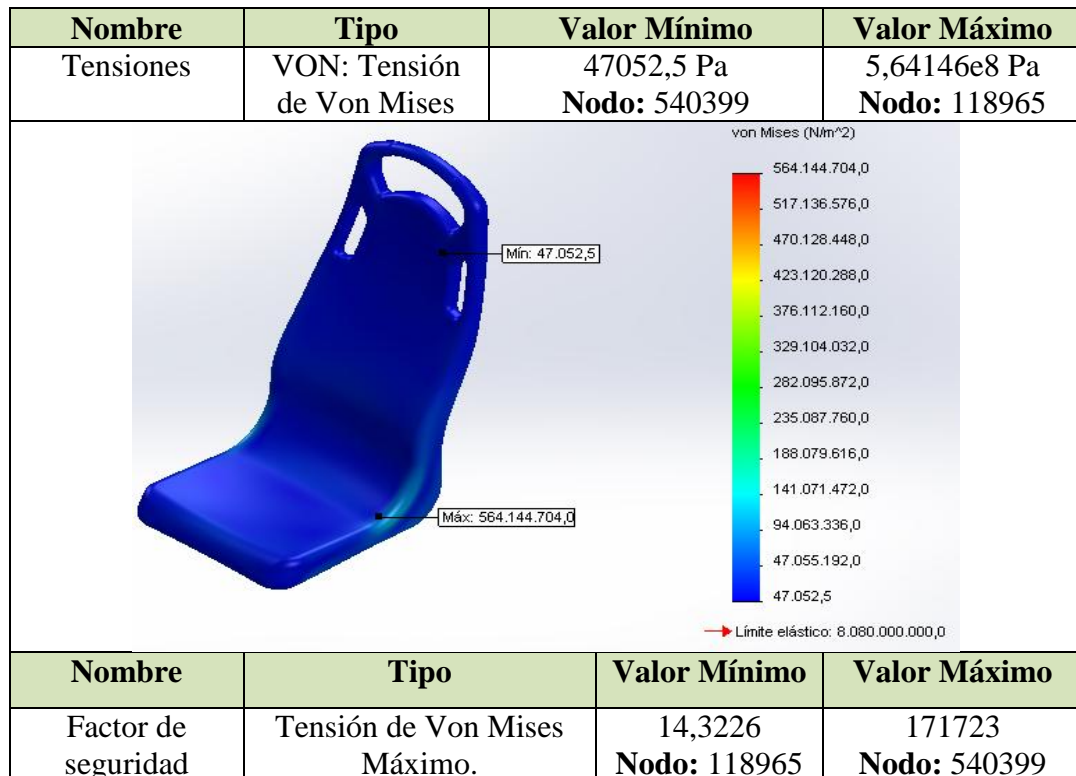
Tabla 6-4 Deformación del análisis estático



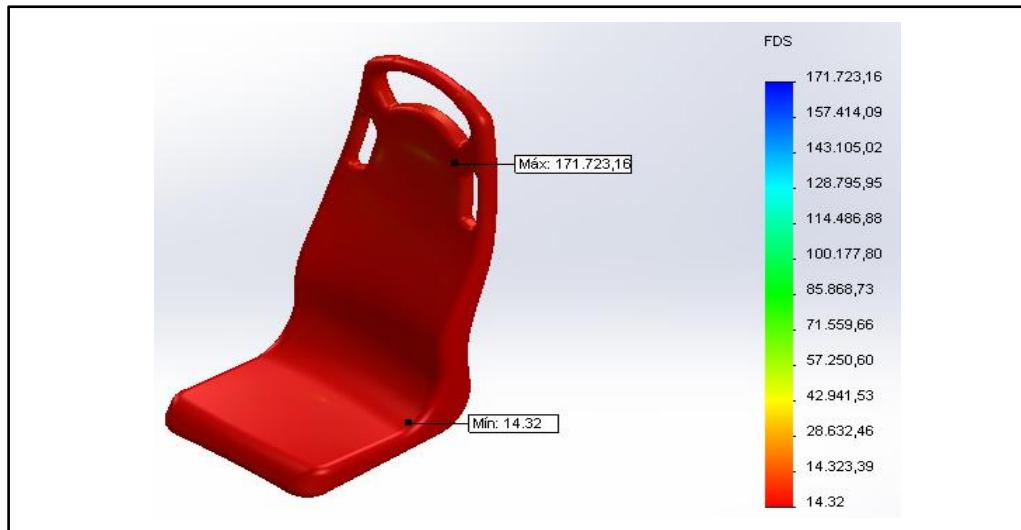
Fuente: El Autor

6) Diseño de esfuerzos y factor de seguridad

Tabla 6-5 Esfuerzo y factor de seguridad del análisis estático



Continuación. Tabla 6-5 Esfuerzo y factor de seguridad del análisis estático



Fuente: El Autor

El gráfico anterior se establece que el asiento soporta una fuerza de 255 kgf más 60 kgf aplicado en la parte superior del asiento, debido a que el factor de seguridad es de 14,32, el espesor de asiento es de 5 mm, se construyó de este espesor para que sea rígido, ya que al bajar mucho el espesor el asiento se vuelve demasiado flexible para lo cual se debería colocar refuerzos internos, para evitar ese trabajo y abaratar costos, se llegó a la conclusión de realizar la construcción del asiento de un espesor de 5 mm.

6.6.5 ANÁLISIS DE DEFLEXIÓN DEL ASIENTO

Para realizar este análisis se estableció el peso que va a soportar y la fuerza que se aplicara en el espaldar del asiento por parte de los usuarios, a continuación se detallas el análisis en el siguiente informe que se obtiene del análisis realizado mediante un software.

1) Procedimiento del análisis

Para realizar este análisis se establecieron el peso que va a soportar el asiento la misma que es de 85 kg, también la fuerza que va a ejercer en el espaldar del asiento, igual que en el análisis estático a este peso se agregó un factor de seguridad de 3.

2) Modelo

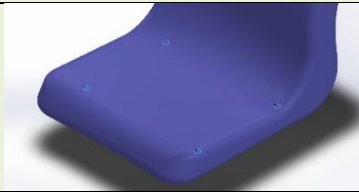
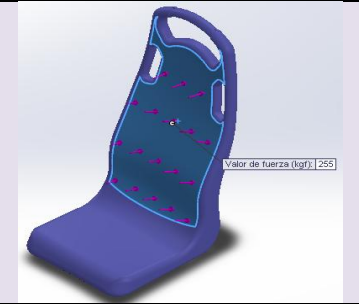
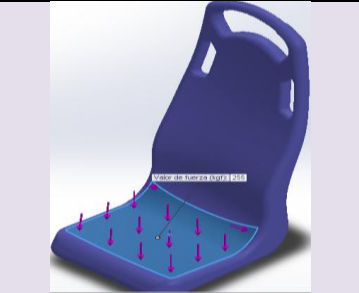

El modelo a realizar el análisis de deflexión es el que se muestra en la Figura 6.1.

3) Designación y aplicación de propiedades del material

Para realizar el análisis de deflexión se utilizó las propiedades del material y del modelo que se encuentran especificado en la Tabla 6.1.

4) Cargas y sujeciones aplicadas

Tabla 6-6 Cargas y sujeciones aplicadas al asiento para el análisis de deflexión

Nombre	Imagen	Detalles
Sujeción. Fijo-1		Entidades: 4 caras. Tipo: Geometría fija.
Carga Fuerza-1		Entidades: 1 cara. Tipo: Aplicar fuerza normal. Valor: 255 kgf.
Carga Fuerza-2		Entidades: 1 cara. Tipo: Aplicar fuerza normal. Valor: 255 kgf.
Carga Fuerza-3		Entidades: 1 cara. Tipo: Aplicar fuerza. Valor: -60 kgf.

Fuente: El Autor

5) Análisis reacciones y deformaciones

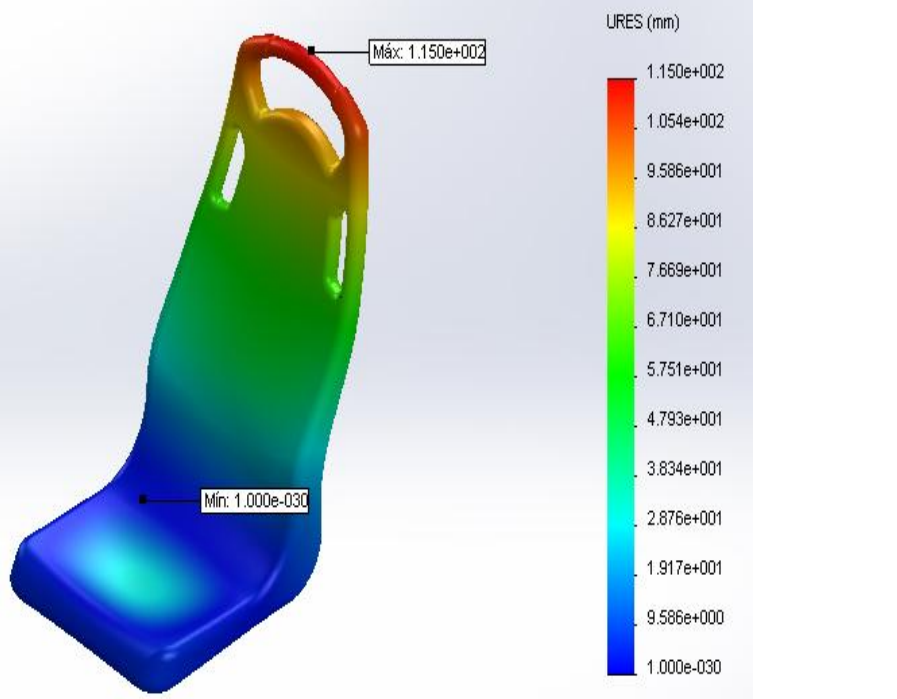
Tabla 6-7 Reacciones del análisis de deflexión

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	-17,61	3711,64	2535,72	4495,16
Momento de reacción (N-m)	0	0	0	0

Fuente: El Autor

Tabla 6-8 Deformación del análisis de deflexión

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 147484	115,029 mm Nodo: 31753

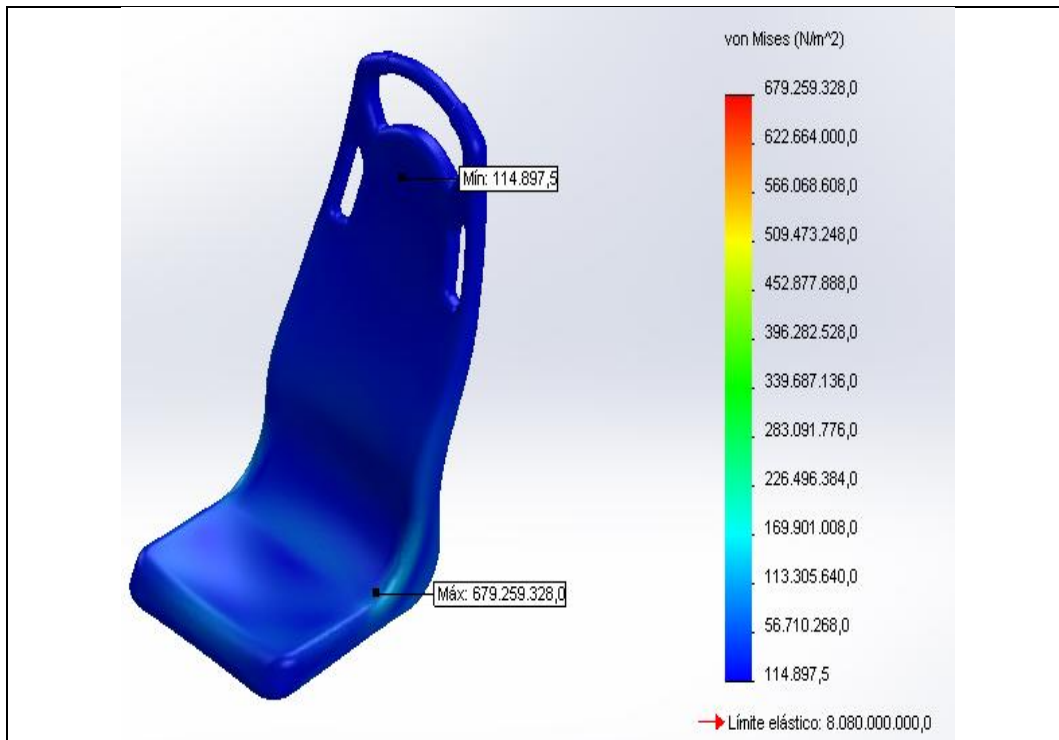


Fuente: El Autor

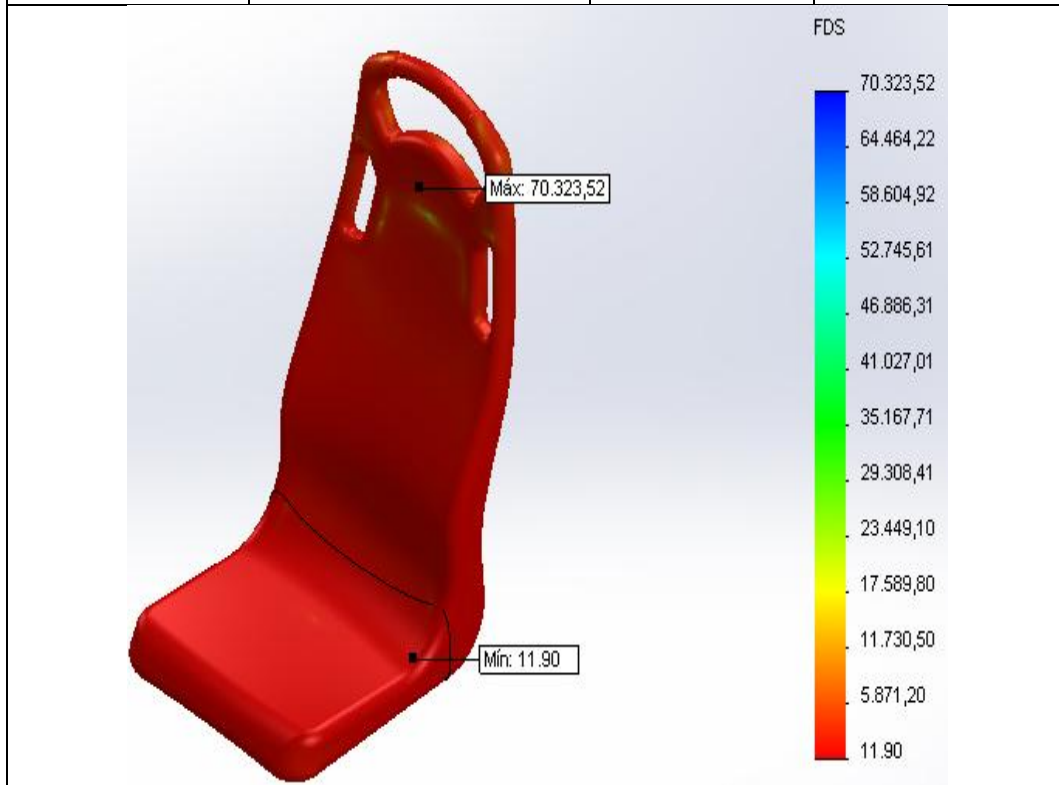
6) Diseño de esfuerzos y factor de seguridad

Tabla 6-9 Esfuerzo y factor de seguridad del análisis de deflexión

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	114898 Pa Nodo: 131295	6,79259e8 Pa Nodo: 161678



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad	Tensión de Von Mises Máximo.	11,9853 Nodo: 161678	70323,5 Nodo: 20341



Fuente: El Autor

Del análisis a deflexión se puede establecer que al aplicar las cargas tanto en el espaldar como en la superficie donde se sienta el usuario soporta sin ningún problema ya que el factor de seguridad es de 11.98 muy cercano al factor del análisis anterior que fue de 14,32, con lo cual se puede establecer que el asiento tiene una alta resistencia al aplicar cargas de deflexión.

6.6.5 ESTRUCTURA DE LA BASE DEL ASIENTO

Se realizó el modelado de la estructura tomando como base la existente en el mercado, debido a que es un diseño sencillo, fácil de construir, práctico para el ensamblado del asiento y de toda su estructura al piso del bus, ya que estos diseños son estándares en las carrocerías, debido que en las mismas ya tienen plantillas predeterminadas para su construcción y el ensamblado de todo el asiento.



Figura 6-2 Estructura base del asiento de un bus urbano

Fuente: El Autor

6.7 METODOLOGÍA MODELO OPERATIVO

Una vez de haber realizado el diseño del asiento para un bus urbano se procede a la construcción de la misma, a continuación se detalla el proceso de construcción desde el molde hasta obtener el producto final que es el asiento con toda su estructura.

6.7.1 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

El molde se lo realizó en base a un asiento de plástico la misma que es de fácil adquisición, el modelo de la misma es tal como se muestra en la Figura 6.15 se procedió a realizar el molde de la siguiente forma: **Nota:** El procedimiento para la fabricación de los moldes que se enlistara a continuación, es el mismo tanto para el parte frontal como la parte posterior, pero se realizó primero la construcción de la parte frontal, una vez finalizado se continuo con la parte posterior.

- a) Limpiar el asiento con waipe.



Figura 6-3 Limpieza de la matriz

Fuente: El Autor

- b) Aplicar la cera en toda la superficie.



Figura 6-4 Aplicación de la cera

Fuente: El Autor

- c) Limpiar la cera con un waipe por lo mínimo unas 5 pasadas hasta que la superficie quede completamente brillante.



Figura 6-5 Limpieza de la cera

Fuente: El Autor

- d) Trazar línea de separación para tener referencia hasta qué punto va ser la tapa uno y la tapa dos, siendo el contorno uno el frente donde se asiente, mientras que la tapa dos es la parte posterior.
- e) Aplicar con un waipe el demoldante en toda la superficie y esperar aproximadamente uno 20 minutos hasta que se seque.



Figura 6-6 Aplicación del desmoldante

Fuente: El Autor

- f) Preparar el yercol y colocar en el asiento, esperar que se seque unos 15 minutos aproximadamente, el yercol está compuesto por 40 gotas de cobalto, 20 gotas de meck, 1 litro de yercol, con este producto se obtiene una superficie ploma que se observara más adelante.



Figura 6-7 Aplicación del yercol en la superficie frontal

Fuente: El Autor



Figura 6-8 Aplicación del yercol en la superficie posterior

Fuente: El Autor

g) Colocar la primera capa de fibra de vidrio.



Figura 6-9 Colocación capa de fibra de vidrio parte frontal

Fuente: El Autor



Figura 6-10 Colocación capa de fibra de vidrio parte posterior

Fuente: El Autor

- h) Preparar la resina poliéster (1890 cc de resina, 567 cc de estireno, 187 gotas de peróxido y 325 gotas de catalizador), untar esta mezcla sobre la fibra de vidrio.



Figura 6-11 Untar la resina sobre fibra de vidrio parte frontal

Fuente: El Autor



Figura 6-12 Untar la resina sobre fibra de vidrio parte posterior

Fuente: El Autor

- i) Colocar dos capas con la respectiva mezcla de resina, siguiendo los pasos g y h.
- j) Dejar el lapso de un día para que se compacte y quede completamente seco, transcurrido ese tiempo, cortar los bordes o excesos y retirar el molde de la matriz.



Figura 6-13 Retirar excesos del material de los bordes

Fuente: El Autor

- k) Lijar, masillar las imperfecciones hasta obtener una superficie completamente liza, con el yercol se obtiene una superficie como se muestra en la siguiente figura.

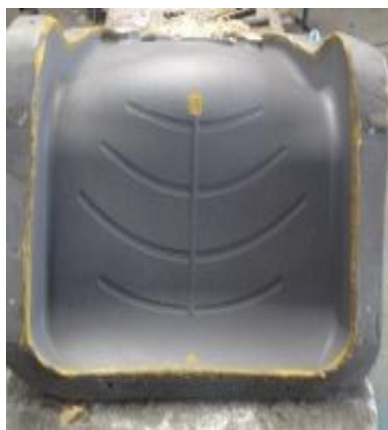


Figura 6-14 Molde tapa 1 del asiento de un bus urbano

Fuente: El Autor

El procedimiento anterior se aplica para el molde de la tapa dos, quedando como se muestra en la siguiente figura.



Figura 6-15 Molde tapa 2 del asiento de un bus urbano

Fuente: El Autor

6.7.2 LAMINADO DE LAS DOS TAPAS DEL ASIENTO

Una vez con los moldes ya listos y teniendo unos buenos acabados se procede a realizar la lámina de las dos tapas para su posterior ensamblado, el procedimiento es el mismo tanto para la tapa uno, como para la dos, como sigue a continuación:

- a) Pasar al molde un waípe con cera.



Figura 6-16 Molde untado con cera

Fuente: El Autor

- b) Limpiar el molde con waipa limpio y seco para remover la cera.



Figura 6-17 Molde removido con cera

Fuente: El Autor

- c) Realizar el proceso a y b por lo menos unas cinco veces hasta que la superficie quede completamente brillante, ya que de esto depende al momento de retirar la pieza del molde.
- d) Pasar al molde un waipa empapado de desmoldante y esperar que se seque aproximadamente 10 min.



Figura 6-18 Molde untado con desmoldante

Fuente: El Autor

- e) Aplicar la primera capa fina de la resina mezclada (3780 cc de resina, 1134 cc de estireno, 375 gotas de peróxido y 650 gotas de catalizador) sobre la superficie del molde con una brocha.



Figura 6-19 Molde aplicado resina poliéster

Fuente: El Autor

- f) Colocar la primera capa de fibra de cabuya en el molde y aplicar la resina mezclada, (3780 cc de resina, 1134 cc de estireno, 375 gotas de peróxido y 650 gotas de catalizador) con una brocha y un rodillo para moldear la pieza.



Figura 6-20 Ubicación de la fibra de cabuya en el molde

Fuente: El Autor

- g) Colocar la segunda capa de fibra de cabuya en el molde y aplicar la resina mezclada, (3780 cc de resina, 1134 cc de estireno, 375 gotas de peróxido y 650 gotas de catalizador) con una brocha y un rodillo para moldear la pieza.

- h) Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que la pieza este gelatinoso. El espesor del asiento debe ser mayor a 5 mm,
- i) Transcurrido este tiempo ensamblar las dos tapas mediante la utilización de playos de presión.



Figura 6-21 Ensamble de los moldes laminados

Fuente: El Autor

- j) Dejar secar la pieza por 24 horas para evitar que se dañe y poder desmoldar.
- k) Transcurrido este tiempo desmoldar la pieza mediante la ayuda de un desarmador o una palanca de madera, no se debe golpear el molde con herramienta que tengan filo, para ello en caso que fuere necesario utilizar un martillo de goma.



Figura 6-22 Asiento desmoldado vista de frente y el espaldar

Fuente: El Autor

- l) Finalmente retirar la pieza del molde.
- m) Verificar que la superficie se encuentre sin porosidad, caso contrario masillar y dar los acabados permitentes como son: de lijado, masillado, se puede observar el alineamiento final de la fibra de cabuya.



Figura 6-23 Asiento listo para el pintado

Fuente: El Autor

- n) Realizar los cortes ya establecidos y pintar el asiento, almacenar provisionalmente en el sitio designado hasta su posterior utilización.



Figura 6-24 Asiento final lista para ser utilizado

Fuente: El Autor

6.7.3 MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADO

Tabla 6-10 Maquinaria y equipos utilizados en la construcción del asiento

Maquinaria y equipos	Herramientas	Equipo de protección
Taladro de pedestal	Sierra	Guantes quirúrgicos
Taladro eléctrico	Limas	Mascarillas
Soldadora eléctrica	Entenalla	Casco
Compresor, esmeril	Equipo de pintura	Mandil
Dobladora de tubo	Flexómetro, calibrador	Gafas, guantes de cuero

Fuente: El Autor

6.8 ADMINISTRACIÓN

En este literal se realizó un análisis de todos los costos que se presentaron para la construcción del molde, del laminado, de los soportes, de la base, para poder realizar comparaciones de precios de un asiento de plástico con el propuesto en el presente estudio.

Tabla 6-11 Costo de la construcción del laminado, base, soporte, del asiento

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
1	Resina poliéster	1	Galón	14	14
2	Estireno	1	U	1,5	1,5
3	Peróxido o catalizador	1	U	1,25	1,25
4	Cobalto	1	U	1,25	1,25
5	Fibra larga cabuya	1	U	5	5
6	Cera	1	U	1,1	1,1
7	Molde	2	U	15	30
8	Asiento de plástico	1	U	65	65
9	Base adquirida	1	U	34,25	34,25
14	Pernos D 1/2"	6	U	1	6
15	Tuercas y arandelas D 1/2"	6	U	1	6
16	Electrodos E6011	5	U	2	10
17	Pintura	0,25	U	20	5
18	Tinner	1	Galón	6	6
19	Fondo	0,25	U	20	5
20	Lijas	4	U	5	20
21	Guantes	2	U	1,5	3
22	Mascarillas	2	U	1	2
Total (USD)					216,35

Fuente: El Autor

El costo por concepto de la mano de obra se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6-12 Costo de mano de obra de la construcción del asiento

Cargo	Horas de trabajo	Costo-hora	Total
Maestro	5	3,75	18,75
Ayudante	5	2,5	12,5
Total (USD)			31,25

Fuente: El Autor

El costo de construcción de las probetas para realizar el muestreo de datos en la máquina de ensayos a flexión son los siguientes:

Tabla 6-13 Costo de construcción de las probetas para los ensayos

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
1	Molde	1	U	20	20
2	Resina poliéster	1	Galón	14	14
3	Estireno	2	U	1,5	3
4	Peróxido o catalizador	2	U	1,25	2,5
5	Cobalto	2	U	1,25	2,5
6	Fibra larga cabuya	1	U	5	5
7	Fibra corta cabuya	1	U	5	5
8	Cortes de probetas	52	U	10	520
Total (USD)					572

Fuente: El Autor

Finalmente una vez que se obtuvieron todos los costos se establece el total que se invirtió en realizar este proyecto de investigación.

Tabla 6-14 Costo total de la investigación

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
1	Asiento terminado	1	U	247,6	247,6
2	Personal	3	U	200	600
3	Materiales de oficina	1	U	100	100
4	Transporte	1	U	300	300
5	Bibliografía	1	U	150	150
6	Anillados	10	U	2	40
7	Calibrador	1	U	35	35
8	Cámara	1	U	220	220
9	Flexómetro	1	U	5	5
10	Transcripciones	3	U	50	150
11	Impresiones	10	U	40	400
12	Probetas	52	U	11	572
Total (USD)					2769,6

Fuente: El Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Finalizado el presente proyecto de investigación, el mismo que fue desarrollado en la Universidad Técnica de Ambato específicamente en los Laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se sugiere tomar en consideración de todas las conclusiones y recomendaciones citadas en el capítulo cinco para tener un producto de alta calidad, además cabe recalcar que el costo unitario del asiento puede variar de acuerdo al número que se pueda construir con el molde, ya que al fabricar asientos en gran cantidad el valor de la construcción del molde va reduciendo por cada asiento, por esta razón es recomendable que cuando se fabrique piezas mediante moldes se lo realice a gran escala para abaratar los costos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AP.T13.1-MPyC. (2002). Tenciones deformaciones fibras compuestas. Editorial Iberisa. Pág. 24,25.
2. Arrasate-Mondragón Guipúzcoa, Plásticos y Materiales Compuestos de Matriz Orgánica, 2006 Escuela Politécnica Superior, Mondragón Unibertsitatea.
3. Ficha técnica NFT01. (2000). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad. Editorial Iberisa. Pág. 19,20.
4. Diez, Agustín. (2008). Introducción a la resina poliéster como material compuesto, Editorial. Suin S.A. Pag. 1,2.
5. H. Villasis, (2011). Tesis. Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación, EPN-Quito.
6. Hanser Verlag Polymer testing
7. M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros. Pág. 25-33.
8. M.M, P.P. (1996). Fundamentos de ciencia de polímeros. Technomic.
9. Morales Antigüedad, G. Madrid (2008). Tesis doctoral procesada y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 978-84-692-2929-3.
10. Moya, J. & Otros. Materiales para engranajes plásticos, características y propiedades. Editorial. Xalapa de la Universidad Veracruzana
11. Rubén Tino Ramos, Jefe de sección de la unidad de carreteras de Zamora del Ministerio de Fomento. Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio. Cimbra Enero-Febrero-Marzo 2010
12. Shigley, E, & Charles, R. (2008). Diseño en ingeniería mecánica. Editorial: Mcgraw-hill. Octava edición
13. V.H. Guerrero, J. Dávila, S. Gales. P. Pontón, N Rosas. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales. Edición. Primera.

ANEXOS

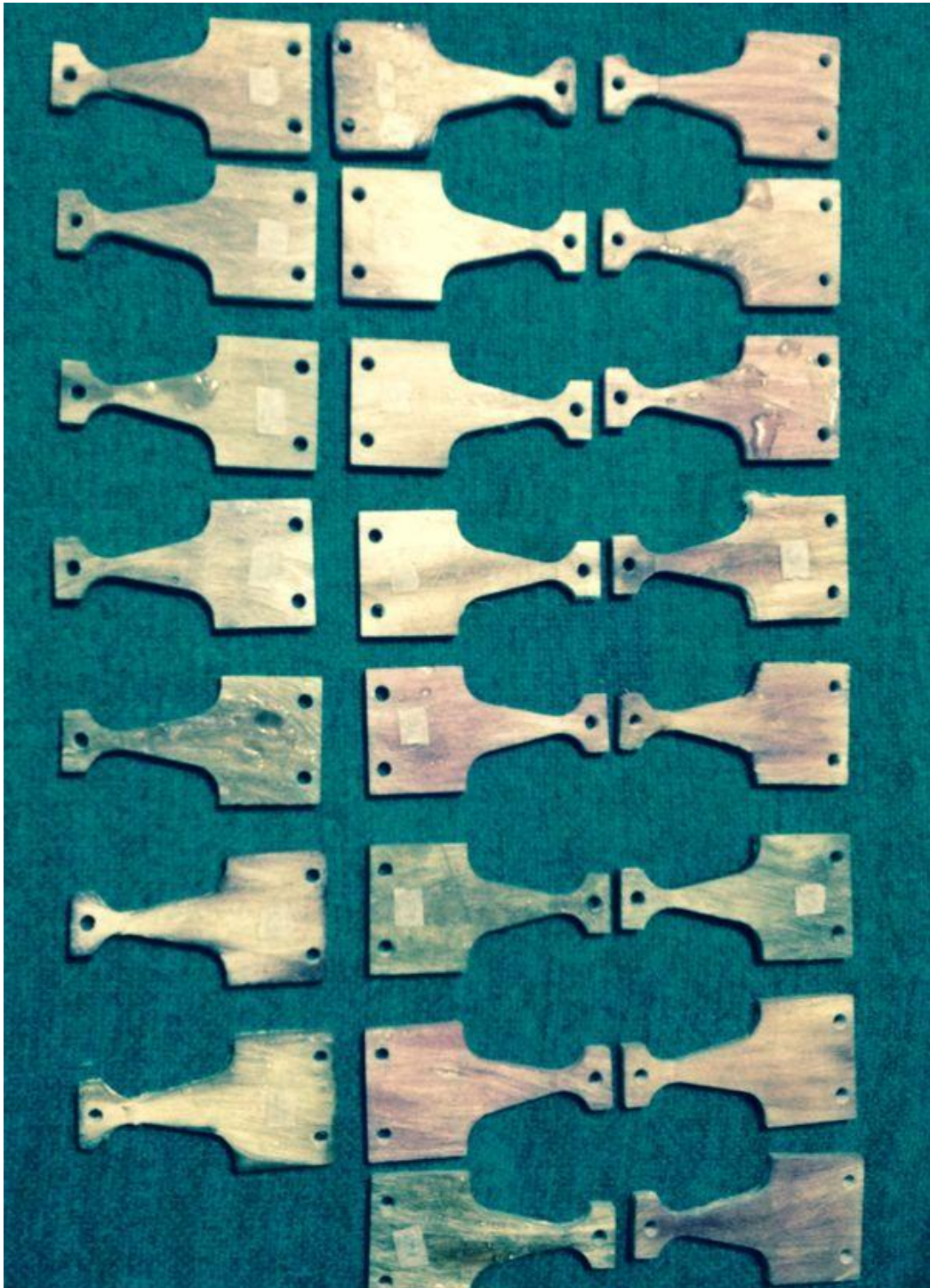
Anexo 1 Tabla de Valores críticos de chi-cuadrado

TABLA 3-Distribución Chi Cuadrado χ^2

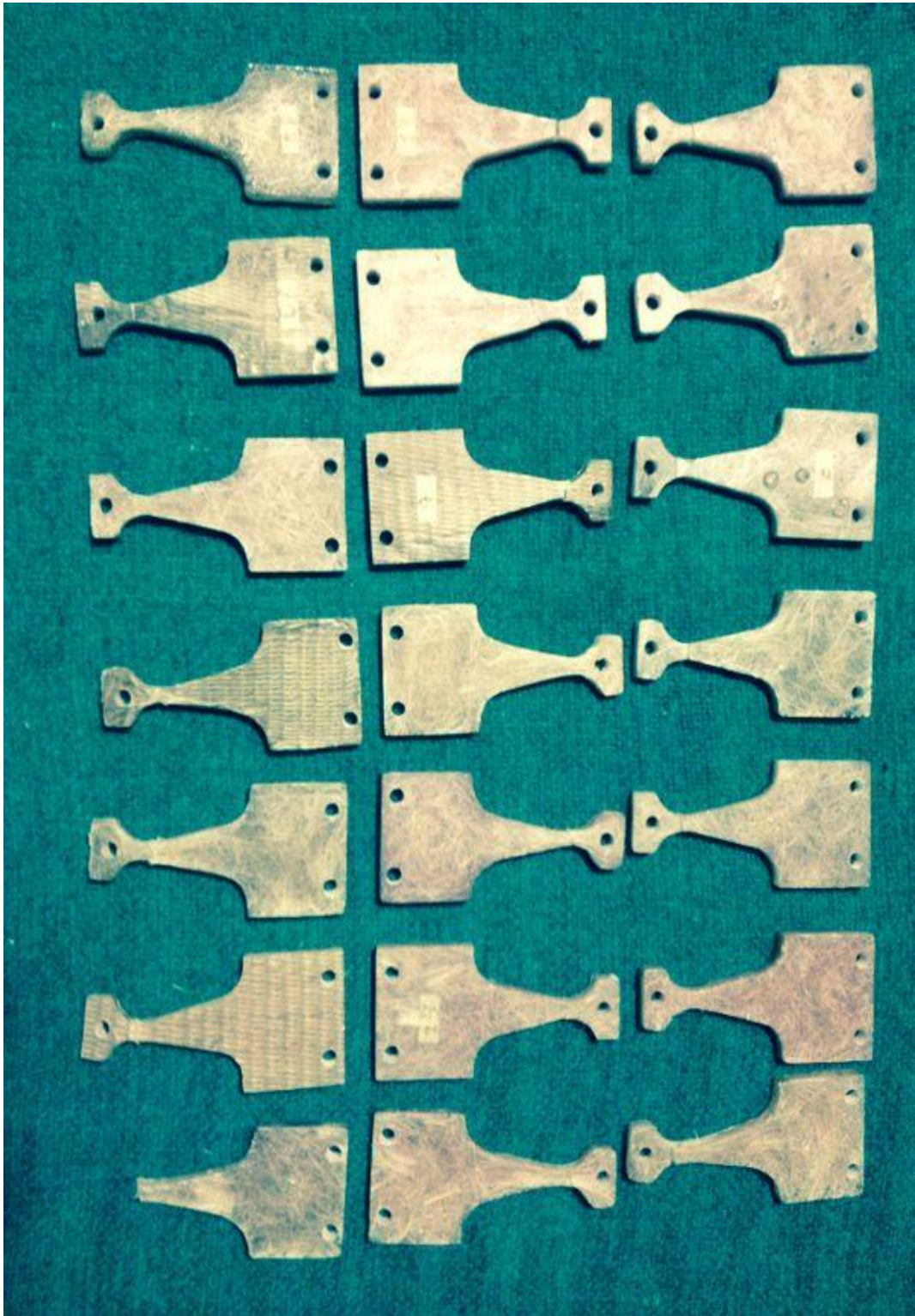
P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

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	14,0571	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	16,9790	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	21,0461	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	22,3520	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	23,6448	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	24,9458	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	26,2162	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	27,5071	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	28,8093	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	30,1135	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	31,4004	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

Anexo 2 Figuras de la probetas largas



Anexo 3 Figuras de la probetas cortas



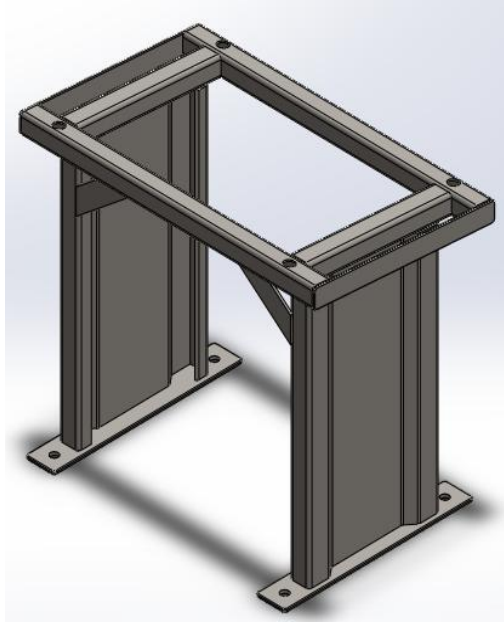
Anexo 4 Asiento de un bus urbano sin maquinar



Anexo 5 Asiento de un bus urbano terminado.



Anexo 6 Base adquirido



Anexo 7 Factor para el tamaño de la muestra

α	0,1	0,05	0,01	0,001
$Z\alpha$	1,645	1,96	2,576	3,291

Anexo 8 Selección de perfiles cuadrados TC



ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Normal: 6 m
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado
 Dimensiones: Desde 3/4 a 4 plg
 (20 x 20) a (100 x 100) mm
 Espesores: Desde 1.5 a 4 mm
 Calidad del Acero: JIS G3132 SPHT-1
 ASTM A 580
 Observaciones: Otros largos previa consulta



NORMA INTERNA

Tolerancia Dimensional:
 3/4" (20 x 20) - 4" (100 x 100) ±0.30 mm
 Variación Longitud: 0
 +10
 Rectitud: 0.4% de longitud (máximo)
 Radio máximo: 3 veces el espesor

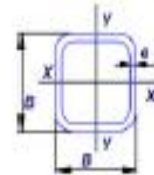
Designación	DIMENSIONES		PESO	AREA	PROPIEDADES		
	B	e			Ejes X-X e Y-Y		
Plg	mm	mm	Kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
3/4	20	1.5	4.98	1.05	0.50	0.58	0.74
		2.0	6.30	1.34	0.89	0.89	0.72
1	25	1.5	6.36	1.35	1.21	0.97	0.95
		2.0	8.16	1.74	1.40	1.18	0.92
1 1/4	30	1.5	7.00	1.65	2.19	1.47	1.15
		2.0	10.08	2.14	2.71	1.81	1.12
1 1/2	40	1.5	10.62	2.25	5.40	2.74	1.56
		2.0	13.86	2.94	6.82	3.46	1.53
		3.0	19.80	4.21	9.20	4.64	1.48
2	50	1.5	13.44	2.85	11.06	4.42	1.97
		2.0	17.58	3.74	14.13	5.65	1.94
		3.0	25.50	5.41	19.40	7.76	1.89
2 3/8	60	1.5	16.26	3.74	18.68	6.22	2.23
		2.0	22.44	4.94	25.12	8.37	2.35
		3.0	33.30	6.81	35.06	11.69	2.30
3	75	2.0	27.00	6.74	30.47	13.46	2.97
		3.0	39.00	9.41	71.04	19.08	2.92
		4.0	51.54	10.95	89.96	24.00	2.87
4	100	2.0	36.42	7.74	122.99	24.60	3.99
		3.0	53.76	11.41	176.95	35.39	3.94
		4.0	70.38	14.95	226.09	46.22	3.89

NOMENCLATURA

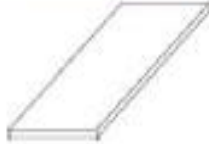
A = Área de la selección transversal del tubo, cm² W = Módulo resistente de la sección, cm³
 I = Momento de Inercia de la sección, cm⁴ r = Radio de giro de la sección, cm

APLICACIONES

- Usos Estructurales**
- Columnas de estructuras
 - Estructuras para techos de vidrio
 - Cerramientos
 - Portones
 - Postes de señalización
- Otros usos**
- Carrocerías
 - Muebles metálicos
 - Máquinas para gimnasio
 - Casetas de guardería
 - Estructuras para letreros
 - Estructuras metálicas
 - Maquinaria industrial
 - Remolques



Anexo 9 Selección de platinas



ESPECIFICACIONES GENERALES

Laminado en caliente:
 ASTM A 570 Gr 36
 ASTM A 36
 ASTM A 283 Gr C
 ASTM A 588 Gr A
 ASTM A 131 Gr A
 ASTM A 516 Gr 70



NORMA INTERNA

Esesor: 2 mm - 75 mm
 (laminado en caliente)
 Desviación: 1,50 x e
 Longitud: - 0 mm
 + 10,00 mm
 Ondulamiento: 10,00 mm de amplitud
 máxima

APLICACIONES

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes)
- Fabricación de tanques
- Estructuras de puentes
- Estructuras de beros
- Carises de pilotes
- Encofrados
- Placas
- Contención de tierras
- Plataformas
- Calderos
- Tubería de grandes diámetros

PROPIEDADES MECÁNICAS

Calidad	Fy	Fu (mín-max)	Elong.
	N/mm ²	N/mm ²	% / 2 plg
A-570 Gr. 36	250	400 - 550	20 / 21
A-36	250	400 - 550	20 / 21
A-283 Gr. C	205	300 - 515	22 / 25
A-131 Gr. A	235	400 - 490	21 / 24
A-588 Gr. A	345	405 - 500	18 / 21
A-516 Gr. 70	360	405 - 620	17 / 21

PROPIEDADES QUÍMICAS

Calidad	C	Mang.	Phosp	Sulfur	Silicon	Copper
	max.	max.	max.	max.	max.	min.
A-570 Gr. 36	0,25	0,80 - 1,20	0,04	0,05	0,4	0,02
A-36	0,25	0,80 - 1,20	0,04	0,05	0,4	0,02
A-283 Gr. C	0,24	0,9	0,04	0,04	0,15 - 0,40	0,02
A-131 Gr. A	0,23	0,80 - 1,10	0,04	0,04		
A-588 Gr. A	0,19	0,80 - 1,25	0,04	0,05	0,30 - 0,65	0,25 - 0,40
A-516 Gr. 70	0,27	0,85 - 1,20	0,04	0,04	0,15 - 0,40	

TABLA DE PESOS APROXIMADOS

ESPEJOR	PLANCHAS (Kg)
mm	1,220 x 2,440 mm
2,00	46,74
3,00	70,10
4,00	93,47
5,00	116,84
6,00	140,21
8,00	186,94
10,00	233,68

Anexo 10 Datos técnicos de la resina poliéster



**RESINA POLIESTER
T596-73**

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

**RESINA ORTOFTALICA DE USOS GENERALES
ALTOS SÓLIDOS**

PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C , Brookfield LVT, aguja # 3 a 60 r.p.m. (cps)	2700	SMP-07-20
Densidad @ 25 ° C (g/ml)	1.17	SMP-07-34
Apariencia	Líquido Transparente	SMP-07-35
% de Sólidos	73	SMP-07-16

PROPIEDADES DE CURADO * (1) ver parte posterior de la hoja

Tiempo de gel @ 25 ° C (min) 100 g de resina + 0,25% O. de Cobalto al 12% + 1.25 % de catalizador MEKP	4	SMP-07-23
Tiempo de Curado (min)	11.0	SMP-07-23
Temperatura de Exotermia (°)	154	SMP-07-23

PROPIEDADES MECÁNICAS * (2) ver parte posterior de la hoja

PROPIEDAD	ENCAPSULADO	LAMINADO	MET. DE PRUEBA
Contenido de Resina	100	70	(% Peso)
Contenido de Fibra de Vidrio	—	30	(% Peso)
Densidad @ 25°C	1.13	1.35	SMP-07-34
Dureza Barcol	34	40 Mín,	SMP-07-39
HDT (° C, a 264 psi)*	75	—	SMP-07-48

N,A. = No Aplica

* HDT = Temperatura máxima de distorsión al calor,

DESCRIPCIÓN

La resina T596-73 de AOC es una resina poliéster insaturada, ortoftálica, "no acelerada" de Exotermia media y alto contenido de sólidos, esta resina fue diseñada para ser utilizada en la fabricación de piezas varias de plástico reforzado utilizando como refuerzos fibra de vidrio y/o cargas minerales.

La resina T596-73 ha sido diseñada para cubrir las necesidades de los fabricantes de piezas de aplicación en las industrias de la construcción, marítima y automotriz, utilizando procesos diversos de manufactura.

CARACTERÍSTICAS

- Excelente compatibilidad con cargas minerales,
- Curado uniforme de baja concentración que evita torceduras,
- Exotermia dentro de un rango que evita las fisuras por concentración de calor,
- Buen balance entre la dureza que desarrolla y la resiliencia que provee a los productos moldeados,
- Alto contenido de sólidos,

BENEFICIOS,

- Alta aceptación de cargas minerales con buena viscosidad del compuesto,
- Excelente humectación a la Fibra de vidrio,
- Buena resistencia al impacto,
- Rápido desarrollo de dureza Barcol, lo que implica alta productividad por molde,
- Gran versatilidad para formular productos,

APLICACION.

- Fabricación de artículos varios de plástico reforzado de aplicación en las industrias de la construcción, marítima y automotriz.

RESINA T596 – 73

RECOMENDACIONES DE EMPLEO

A. Se debe mantener un rango entre el 1 % y el 2 % de catalizador Peroxido de Metil Etil Cetona al 50% sobre el peso total de la resina,

B. Se almacena a temperaturas entre los 18 - 25 ° C y una humedad entre 40 - 80 % para ayudar al fabricante a obtener una mayor calidad en sus productos,

ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO

La Resina tiene una estabilidad de 3 meses a partir de su fecha de producción. Debe ser almacenada en envases cerrados bajo techo a una temperatura no mayor de 25 ° C. Pasado el tiempo de estabilidad de almacenaje garantizado se observara incremento (Drift) o disminución en el tiempo de gel del producto, pudiéndose observar presencia de pequeños geles en el líquido,

Durante los meses de Verano donde la temperatura ambiente es elevada la estabilidad del producto se garantiza un máximo de dos meses a 30°C ambientales (Bajo techo).

SEGURIDAD

Ver Hojas de Seguridad de Materiales y Hoja de Emergencia de Transportación de Resinas de AOC

Para el manejo del producto el personal debe utilizar el equipo de seguridad abajo descrito,



CERTIFICADO ISO-9001:2000

El Sistema de Calidad de AOC RESINAS S.A. de C.V, esta certificado de acuerdo a los estándares de ISO-9001:2008, lo cual nos permite garantizar a nivel internacional la calidad y consistencia de nuestros productos

NOTAS

(1)

Las características de gelado pueden variar de lote a lote debido a la concentración del catalizador, inhibidor y promotores empleados o por un exceso de humedad en el ambiente,

Los pigmentos y las cargas pueden acelerar o retardar el tiempo de gel.

Es recomendable que antes de usar la resina, el fabricante haga pruebas con una pequeña porción de la resina para revisar las características de gel; esto es de acuerdo a sus condiciones de operación

(2)

Las pruebas mecánicas se realizaron en un laminado sin refuerzo (Casting), a una temperatura de 25 ° C y una humedad relativa del 50 %. Las pruebas se realizaron adicionando el 1 % de PMEK al 50 %

Dentro de la información que poseemos los datos aquí obtenidos son confiables. Esta información se suministra al margen de cualquier otra garantía expresa o implícita, incluida toda garantía de comercialización o uso para un fin particular es independiente de cualquier otra responsabilidad contraída con el fabricante en vista de que el uso de este material esta fuera de nuestro control. Esta compañía no se hace responsable de cualquier daño o perjuicio resultado del mismo, La decisión final respecto a la utilización de este producto para el uso contemplado, el modo de empleo y el caso que su uso infrinja alguna patente, es responsabilidad únicamente del comprador.



REPRESENTANTE EN ECUADOR



Rumiurco Oe4-365 y Pedro Freile. Cotacollao PBX: 2 530 912 Fax: 2 598 451 www.pintulac.com.ec

Anexo 11 Tabla de propiedades para materiales compuestos

Propiedad	Unidad	LM	IMLS	IMHS	HM
Densidad	lb/in ³	0.042	0.046	0.044	0.045
Módulos	10 ⁶ psi	0.32	0.50	0.50	0.75
Modulo De Cizalle	10 ⁶ psi	--	--	--	--
Radio de Poisson's	--	0.43	0.41	0.35	0.35
Energía Calórica	BTU/lb/°F	0.25	0.25	0.25	0.25
Conductividad Térmica	BTU/h/ft ² /°F/in	1.25	1.25	1.25	1.25
Coefficiente De Expansión Térmico	10 ⁶ in/in/°F	57	57	36	40
Difusividad	10 ⁻¹⁰ m ² /s	0.6	0.6	0.6	0.6
Coefficientes De Expansión De Humedad	in/in/M →	0.33	0.33	0.33	0.33
Esfuerzo De Tensión	Ksi	8	7	15	20
Esfuerzo De Comprensión	Ksi	15	21	35	50
Esfuerzo De Cizalle	Ksi	8	7	13	15
Esfuerzo De Fractura Por Tensión	in/in %	8.1	1.4	2.0	2.0
Esfuerzo De Fractura Por Comprensión	in/in %	15	4.2	5.0	5.0
Esfuerzo De Fractura Por Cizalle	in/in %	10	3.2	3.5	4.0

Anexo 12 Tabla de Modulo de elasticidad (E)

Tabla 1.21. Propiedades mecánicas de un material compuesto RP/cabuya.

Tipo de material	Fibra de refuerzo	Resistencia a la tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Resistencia máxima a la flexión (Mpa)	Resistencia al impacto (kJ/m ²)
POLIPROPIENO	—	31,62	548,65	37,5	2,2
Compuesto de fibra larga 10mm,10%	cabuya	37,3	2400	52,33	5,2
Compuesto de fibra larga 10mm,20%	cabuya	38,45	4040	51,7	7,4
Compuesto de fibra larga 10mm,30%	cabuya	87,44	8080	124,36	9,5

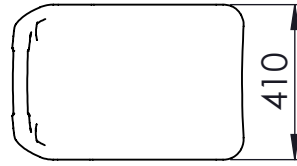
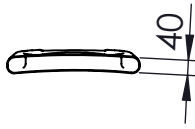
ANEXO 11

PLANOS

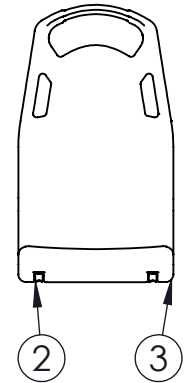
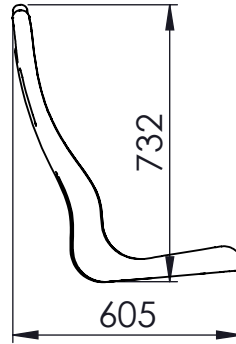
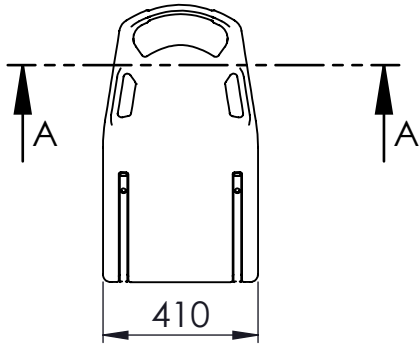
(N7/)

A

SECCIÓN A-A

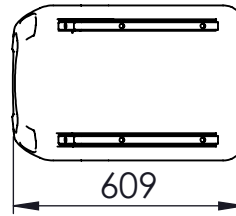


B



C

D

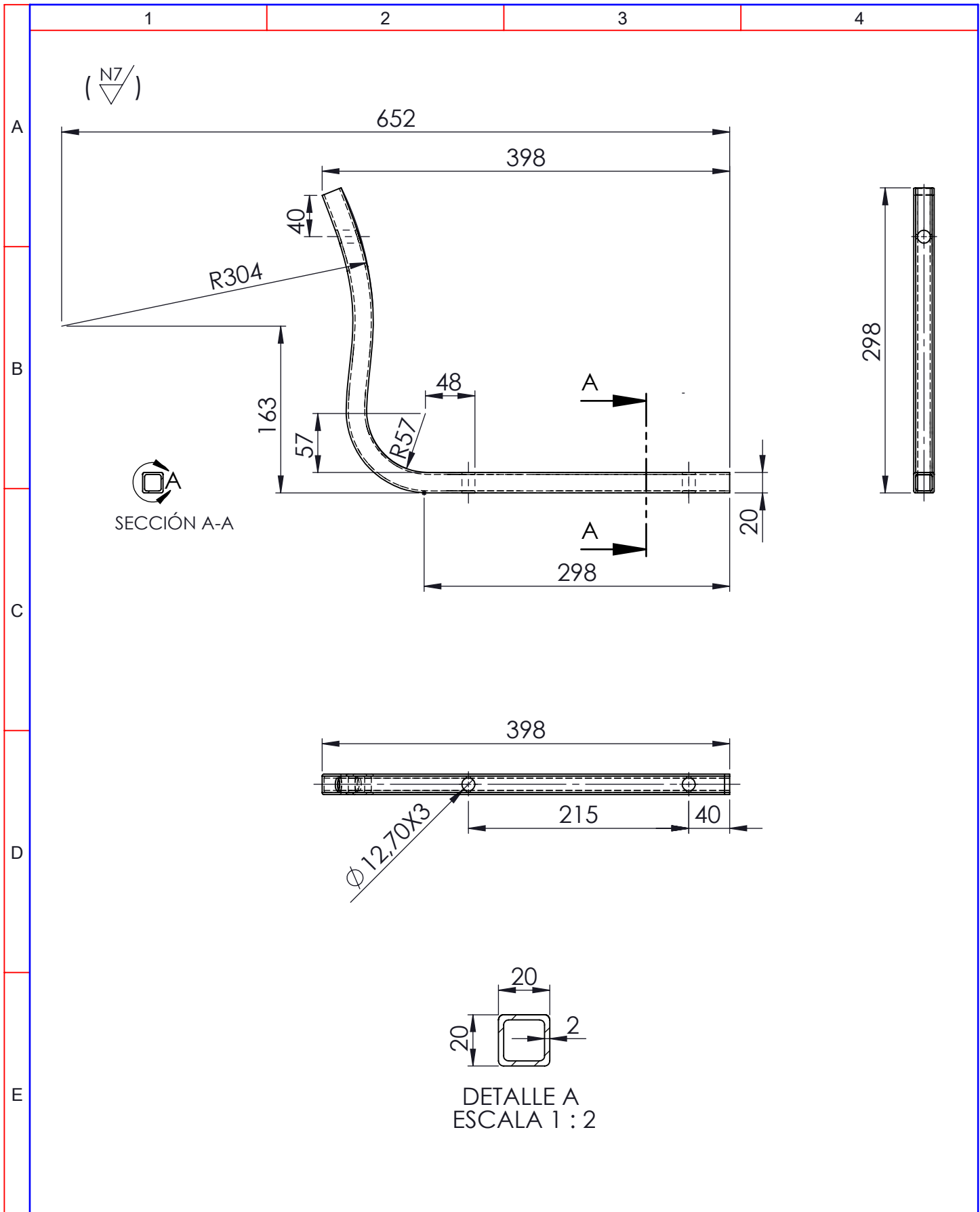


E

3	Asiento	N/A	Fibra cabuya con resina poliéster	N/A	2,46	Costrucción en molde
2	Soporte	TC 20x20x2	ASTM A36	N/A	0,695	Valorado segun la forma
1	Base adquirida	Denominación	ASTM A36	N/A	4,98	Adquirida en una carrocería
N.º De Pieza	Denominación	No.de Norma/Dibujo	Material	No.de Modelo/semiproducto	Peso kg/pz	Observaciones

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	8832.02gr	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 19/07/2014	Carrillo Diego	LISTA DE MATERIALES	
				Revisó: 19/07/2014	Ing. Guamanquispe	Escala: 1:20	
				Aprobó: 17/11/2014	Ing. Guamanquispe	Registro	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01 de 03	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	695.10gr	Acero ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dibujó: 19/07/2014	Carrillo Diego	SOPORTE	1:5	
				Revisó: 19/07/2014	Ing. Guamanquispe			
				Aprobó: 17/11/2014	Ing. Guamanquispe			Registro
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 02 de 03		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

