

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“METODOLOGÍA DEL DISEÑO EN LA ELABORACIÓN DE  
PIEZAS EN FIBRA DE VIDRIO NACIONAL Y COMPROBACIÓN  
MEDIANTE ENSAYOS MECÁNICOS CON VALIDACIÓN DE  
RESULTADOS MEDIANTE UN SOFTWARE.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**SANTIAGO ALEJANDRO ANDRADE PAULA**

**CHRISTIAN FABIÁN MOLINA ENRÍQUEZ**

**DIRECTOR: ING. GONZALO MORA**

**CODIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI**

**Sangolquí, 2006-04**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “METODOLOGÍA DEL DISEÑO EN LA ELABORACIÓN DE PIEZAS EN FIBRA DE VIDRIO NACIONAL Y COMPROBACIÓN MEDIANTE ENSAYOS MECÁNICOS CON VALIDACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE UN SOFTWARE”, fue realizado en su totalidad por Santiago Alejandro Andrade Paula y Christian Fabián Molina Enríquez, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Gonzalo Mora**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Carlos Suntaxi**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2006-04**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“METODOLOGÍA DEL DISEÑO EN LA ELABORACIÓN DE PIEZAS EN  
FIBRA DE VIDRIO NACIONAL Y COMPROBACIÓN MEDIANTE ENSAYOS  
MECÁNICOS CON VALIDACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE UN  
SOFTWARE”**

**ELABORADO POR:**

---

**Santiago Alejandro Andrade Paula**

---

**Christian Fabián Molina Enríquez**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**MAYO. DE E. Ing. Edgar Pazmiño  
DECANO**

**Sangolquí, 2006-04**

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios, por acompañarme día a día en toda actividad que emprendo.

A mis padres, por ser fuente de sabiduría constante, que en el transcurso de mi formación personal y académica supo sembrar en mí responsabilidad y perseverancia.

A mi madre, que siempre es mi apoyo incondicional toda mi vida.

A mi hermano, que lucha junto a mis padres por sacar adelante nuestra familia.

A mis abuelitos, por darme un cariño especial y quienes confían siempre en mí.

Para el amor de mi vida, mi Karla, por confiar en mí, por hacerme feliz y por todo.....

**Christian.**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres Flavio Andrade C. Y Laura Paula A. por su constante apoyo y confianza, a mi querida abuelita María Eugenia C. por su gran apoyo confianza y amor.

A mis Hermanos por su paciencia y comprensión.

Sobre todo a Paulina Chiriboga por ser una buena amiga y una persona muy especial quien me brindo ánimo y comprensión en todo momento.

**Atentamente**

Santiago Andrade P.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios

Un agradecimiento muy especial a la Escuela Politécnica del Ejército por habernos formado como profesionales para así aportar con el crecimiento de la sociedad.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica, por habernos capacitado para ser hombres de bien en la vida.

A los Ingenieros Gonzalo Mora y Carlos Sntaxi que nos han guiado constantemente en el transcurso del proyecto.

A los técnicos que aportaron para que se desarrolle de mejor forma el presente proyecto.

Gracias...

# INDICE GENERAL

## CAPÍTULO 1

### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES-----	1
1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA-----	1
1.3. JUSTIFICACIÓN-----	2
1.4. ALCANCE-----	2
1.5. OBJETIVOS-----	2

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO DE MATERIALES COMPUESTOS

2.1. MATERIAS PRIMAS-----	7
2.1.1. FIBRA DE VIDRIO-----	7
2.1.1.1. Generalidades-----	7
2.1.1.2. Tipos de fibra de vidrio-----	8
2.1.1.3. Propiedades de la fibra de vidrio-----	9
2.1.1.4. Fabricación-----	10
2.1.1.5. Presentaciones Industriales-----	14
2.1.1.6. Condiciones de Almacenamiento-----	19
2.1.2. MATRICES-----	20
2.1.2.1. Termoestables-----	22
2.1.2.2. Termoplásticos-----	28
2.1.3. Interfase Fibra Matriz-----	38
2.1.3.1. Impregnabilidad-----	38
2.1.3.2. Unión en la interfase-----	39
2.1.4. Cargas y aditivos.-----	41
2.1.4.1. Cargas-----	42
2.1.4.2. Aditivos-----	43
2.1.5. Criterios de elección de los constituyentes-----	44
2.1.6. Materiales para núcleos de sándwich-----	44
2.1.6.1. Núcleos de nido de abeja-----	45

2.1.7. Adhesivos-----	50
2.1.7.1. Adhesivos estructurales-----	52
2.1.7.2. Preparación de superficies-----	54
2.1.7.3. Elección del adhesivo-----	54
2.1.8. Recubrimientos-----	55
2.1.8.1. Criterios Los Gel coat-----	56
2.1.8.2. Aplicación del gel coat-----	59
2.1.8.3. Recubrimientos anti abrasión y de adherencia-----	59
2.1.8.4. Sistemas de Material Compuesto-----	61
2.2. TEORIA DE DISEÑO-----	65
2.2.1. TIPOS DE DAÑO-----	65
2.2.1.1. Daño frágil-----	65
2.2.1.2. Daño dúctil-----	65
2.2.1.3. Daño por termo fluencia-----	66
2.2.1.4. Daño por fatiga a ciclos bajos-----	66
2.2.1.5. Daño por fatiga a ciclos altos-----	66
2.2.1.6. Daño en los materiales compuestos de fibra continua-----	66
2.2.1.7. Fractura translaminar-----	67
2.3. PROCESOS DE FABRICACIÓN-----	69
2.3.1. FASES DE FABRICACIÓN-----	69
2.3.1.1. Composición – fusión-----	69
2.3.1.2. Fibrado-----	70
2.3.1.3. Ensimado-----	70
2.3.1.4. Bobinado-----	73
2.3.1.5. Secado-----	73
2.4. ENSAYOS-----	73
2.4.1. ENSAYO DE TRACCIÓN-----	73
2.4.2. ENSAYO DE FLEXIÓN-----	76
2.4.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN-----	78
2.4.4. ENSAYO DE FATIGA-----	80

## **CAPÍTULO 3**

### **3. METODOLOGIA DE DISEÑO APLICABLE A LA FIBRA DE VIDRIO**

3.1.	ALTERNATIVAS-----	84
3.1.1.	NIVEL MICRO MECÁNICO-----	84
3.1.1.1.	Simetría Ortótropa-----	84
3.1.1.2.	Simetría transversalmente isótropa-----	85
3.1.1.3.	Simetría isótropa-----	86
3.1.1.4.	Constantes ingenieriles-----	87
3.1.1.5.	Obtención de las características elásticas de la lámina.-----	87
3.1.1.6.	Teoría de placas laminadas.-----	89
3.1.2.	NIVEL MACRO MECÁNICO-----	89
3.1.2.1.	Fibras Paralelas Continuas-----	89
3.1.2.2.	Fibras Paralelas Discontinuas-----	91
3.1.2.3.	Cargas Transversales de Tracción-----	94
3.1.2.4.	Cargas Longitudinales de Compresión-----	95
3.2.	ANÁLISIS Y SELECCIÓN-----	96

## **CAPÍTULO 4**

### **4. ANÁLISIS Y DISEÑO**

4.1.	CONDICIONES DE CARGA-----	97
4.1.1.	TRACCIÓN-----	97
4.1.2.	COMPRESIÓN-----	97
4.1.3.	FLEXIÓN-----	98
4.2.	GEOMETRÍA DE PIEZAS ESTRUCTURALES-----	99
4.2.1.	GEOMETRÍA DE PIEZA ESTRUCTURAL PARA TRACCIÓN-----	100
4.2.2.	GEOMETRÍA DE PIEZA ESTRUCTURAL PARA COMPRESIÓN-----	100

4.2.3. GEOMETRÍA DE PIEZA ESTRUCTURAL PARA FLEXIÓN-----	101
4.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS-----	101
4.3.1. SISTEMAS DE MATERIALES	
COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO-----	102
4.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL UTILIZANDO UN SOFTWARE ADECUADO-----	105
4.4.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS-----	106
4.4.1.1. Cargar un archivo de sólidos-----	106
4.4.1.2. Definir un tipo de estudio adecuado-----	106
4.4.1.3. Aplicar el material-----	106
4.4.1.4. Aplicar cargas y restricciones-----	106
4.4.1.5. Crear la malla-----	107
4.5. RESULTADOS-----	107
4.5.1. ENSAYO DE TRACCIÓN-----	107
4.5.2. COMPRESIÓN-----	111
4.5.3. ENSAYO DE FLEXIÓN-----	113

## **CAPÍTULO 5**

### **5. CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS ESTRUCTURALES**

5.1. MATERIALES-----	116
5.1.1. FIBRA DE VIDRIO-----	116
5.1.2. RESINA POLIÉSTER-----	116
5.1.3. PERÓXIDO DE METIL-ETIL- CETONA MEKP (CATALIZADOR)-----	118
5.1.4. OCTOATO DE COBALTO (ACELERANTE)-----	118
5.1.5. ALCOHOL POLIVINÍLICO (DESMOLDANTE)-----	119
5.1.6. TINTES-----	119
5.2. MOLDES-----	119
5.2.1. PREPARACIÓN-----	120
5.3. EQUIPOS-----	121
5.3.1. HERRAMIENTAS-----	121
5.4. PROCESO DE FABRICACIÓN-----	122

5.4.1. PROCEDIMIENTO-----	122
5.4.1.1. Trazado y corte de la fibra de vidrio-----	122
5.4.1.2. Conformado de las capas-----	126
5.4.1.3. Laminado-----	126
5.4.1.4. Curado-----	127
5.4.1.5. Mecanizado-----	128
5.4.1.6. Desmolde-----	128
5.4.1.7. Control de Calidad-----	128
5.5. DIAGRAMA DE PROCESOS-----	129

## **CAPÍTULO 6**

### **6. ENSAYOS MECÁNICOS**

6.1. CARGAS-----	130
6.1.1. CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES -----	130
6.2. ENSAYO DE TRACCIÓN-----	132
6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN-----	135
6.4. ENSAYO DE FLEXIÓN-----	136
6.5. ENSAYO DE FATIGA-----	138
6.6. ENSAYO SOBRE PIEZA ESTRUCTURAL-----	139
6.6.1.1. Esfuerzos-----	139
6.6.1.2. Desplazamiento-----	140
6.6.1.3. Tensión-----	141
6.6.1.4. Deformación-----	142
6.6.1.5. Análisis de resultados-----	142
6.7. ANALISIS DE RESULTADOS-----	143
6.7.1. ENSAYO DE TRACCION.-----	143
6.7.2. ENSAYO DE COMPRESION.-----	148
6.7.3. ENSAYO DE FLEXION.-----	152
6.7.4. FACTORES DE CORRECCION.-----	152

## **CAPÍTULO 7**

### **7. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA**

7.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA-----	154
7.1.1. COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN-----	154
7.1.1.1. Materiales-----	154
7.1.1.2. Fabricación de Probetas-----	156
7.1.1.3. Remuneración a profesionales-----	158
7.1.1.4. Costo de diseño-----	158
7.1.1.5. Otros costos directos-----	159
7.1.2. COSTOS INDIRECTOS-----	159
7.1.2.1. Misceláneos-----	159
7.1.3. TOTAL GENERAL DE COSTOS DEL PROYECTO-----	160
7.2. EVALUACIÓN FINANCIERA-----	160
7.2.1. EL CRITERIO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)-----	160
7.2.2. EL CRITERIO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)-----	161

## **CAPÍTULO 8**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

8.1. CONCLUSIONES-----	163
8.2. RECOMENDACIONES-----	163

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Materias primas que componen un material compuesto	6
Tabla 2.2 Clasificación de fibras en función de su origen	6
Tabla 2.3 Propiedades de distintos tipos de fibra de vidrio	10
Tabla 2.4 Principales componentes del ensimaje	12
Tabla 2.5 Diferentes presentaciones de la fibra de vidrio	14
Tabla 2.6 Clasificación de diferentes matrices utilizadas en materiales compuestos	20
Tabla 2.7 Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura de utilización	21
Tabla 2.8 Propiedades de las resinas epoxi más utilizadas	23
Tabla 2.9 Propiedades generales para la resina epoxi	23
Tabla 2.10 Propiedades de las resinas Esteres Cianato	25
Tabla 2.11 Propiedades de las resinas de Poliéster Polimerizadas	26
Tabla 2.12 Temperaturas de procesado (°C) para varias resinas termoplásticas con o sin refuerzo	35
Tabla 2.13 Propiedades de las principales matrices termoplásticas utilizadas en materiales compuestos	36
Tabla 2.14 Comparación de los diferentes sistemas estructurales	53
Tabla 2.15 Esquemas de recubrimientos disponibles	55
Tabla 2.16 Elección del gel coat en función del equipo de aplicación	57
Tabla 2.17 Clasificación de los materiales compuestos en función del tipo de fibra de refuerzo	61
Tabla 2.18 Propiedades mecánicas de Mats de vidrio E	62
Tabla 2.19 Propiedades de estructuras de pultrusión con fibra de vidrio	62
Tabla 2.20 Propiedades mecánicas de SMC	63
Tabla 2.21 Propiedades mecánicas de SMC	63
Tabla 2.22 Propiedades mecánicas de Unidireccionales de vidrio R y E	64
Tabla 2.23 Propiedades mecánicas de Tejidos de vidrio E	64
Tabla 2.24 Principales componentes del ensimaje	71
Tabla 2.25 Dimensiones recomendadas de la probeta en mm	74

Tabla 2.26 Comparación de resistencias a compresión obtenidas mediante mini sándwich IITRI y Standard IITRI	80
Tabla 3.1 Matriz de rigidez de un material ortótropo	85
Tabla 3.2 Matriz de rigidez de un material transversalmente isótropo	85
Tabla 3.3 Matriz de rigidez de un material isótropo	86
Tabla 3.4 Matriz de flexibilidad de un material isótropo	87
Tabla 4.1 Valores de momentos y flechas con distintas condiciones de carga y de contorno	99
Tabla 4.2 Clasificación de los materiales compuestos en función del tipo de fibra de refuerzo	102
Tabla 4.3 Propiedades mecánicas de Mats de vidrio E	102
Tabla 4.4 Propiedades de estructuras de pultrusión con fibra de vidrio	103
Tabla 4.5 Propiedades mecánicas de SMC	103
Tabla 4.6 Propiedades mecánicas de SMC	104
Tabla 4.7 Propiedades mecánicas de Unidireccionales de vidrio R y E	104
Tabla 4.8 Propiedades mecánicas de Tejidos de vidrio E	105
Tabla 5.1 Tiempo de trabajo y secado de diferentes materiales	127
Tabla 6.1 Carta de calibración de la Máquina AMSLER	131
Tabla 6.2 Análisis de resultados para la pieza estructural	142
Tabla 6.3 Análisis de resultados para la primera probeta a tracción	142
Tabla 6.4 Análisis de resultados para la segunda probeta a tracción	143
Tabla 6.5 Análisis de resultados para la tercera probeta a tracción	144
Tabla 6.6 Análisis de resultados para la cuarta probeta a tracción	145
Tabla 6.7 Análisis de errores	146
Tabla 6.8 Análisis entre Módulos de Elasticidad Real y Teórico	147
Tabla 6.9 Análisis de resultados para la primera probeta a compresión	147
Tabla 6.10 Análisis de resultados para la segunda probeta a compresión	148
Tabla 6.11 Análisis de resultados para la tercera probeta a compresión	149
Tabla 6.12 Análisis de resultados para la cuarta probeta a compresión	150
Tabla 6.13 Análisis de errores	151
Tabla 6.14 Análisis de resultados para la primera probeta a flexión	152
Tabla 6.15 Análisis de errores	152

Tabla 6.16 Esfuerzo de Tracción vs. Esfuerzo de Compresión	152
Tabla 6.17 Factores de corrección	152
Tabla 6.18 Esfuerzo de Tracción vs. Esfuerzo de Compresión	153
Tabla 6.19 Esfuerzo de Tracción vs. Esfuerzo de Flexion.	153
Tabla 7.1 Valores de fibra de vidrio tipo malla	154
Tabla 7.2 Valor de resina epoxi (cantidad mínima)	154
Tabla 7.3 Valor de cobalto (cantidad mínima)	155
Tabla 7.4 Valor de MECK Peróxido (cantidad mínima)	155
Tabla 7.5 Valores de Tintes (cantidades mínimas)	155
Tabla 7.6 Valor de Alcohol Polivinílico (cantidad mínima)	156
Tabla 7.7 Valor de Cera desmoldante (cantidad mínima)	156
Tabla 7.8 Costo de las probetas	156
Tabla 7.9 Costo de moldes para las probetas	157
Tabla 7.10 Costo de accesorios utilizados	157
Tabla 7.11 Remuneración a profesionales	158
Tabla 7.12 Costos de diseño	158
Tabla 7.13 Otros costos directos	159
Tabla 7.14 Total costos directos	159
Tabla 7.15 Misceláneos	159
Tabla 7.16 Total costos indirectos	159
Tabla 7.17 Total general de costos del proyecto	160
Tabla 7.18 Costo de los ensayos	160
Tabla 7.19 Cálculo del Valor Agregado Neto	161
Tabla 7.20 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno	162

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Detalle de fabricación de la fibra de vidrio	12
Figura 2.2: Fibrado de vidrio por fusión directa	13
Figura 2.3: Diferentes configuraciones de tejidos	19
Figura 2.4: Ángulo de contacto en un equilibrio líquido-sólido	38
Figura 2.5: Unión mecánica	39
Figura 2.6: Unión electroestática	40
Figura 2.7: Unión química	40
Figura 2.8: Unión mediante interdifusión en polímeros	41
Figura 2.9: Unión mediante interdifusión en metales y cerámicas	41
Figura 2.10: Estructura sándwich	45
Figura 2.11: Estructura sándwich con núcleo de nido de abeja	46
Figura 2.12: La mayoría de los nidos de abeja se obtienen por el proceso de expansión. La forma actual de la celda que se obtiene, puede variar en gran medida según el método utilizado.	47
Figura 2.13: Gráfica de resistencia térmica del nido de abeja	48
Figura 2.14: Resistencias a cortadura medidas en los núcleos	48
Figura 2.15: Resistencia de compresión	49
Figura 2.16: Resistencia a cortadura típicas	49
Figura 2.17: Valores típicos de la cortadura frente a flexión de una placa de nido de abeja de aluminio 5052	50
Figura 2.18: Diferentes formas de daño en materiales compuestos de fibra continua	67
Figura 2.19: Fractura translaminar por tracción	68
Figura 2.20: Vista lateral de un espécimen roto a compresión, con extensa laminación	69
Figura 2.21: Detalle de fabricación de la fibra de vidrio	72
Figura 2.22: Fibrado de vidrio por fusión directa	72
Figura 2.23: Probeta de ensayo a tracción con lengüetas en los extremos	74

Figura 2.24: Posicionamiento de las galgas extensométricas y cálculos para la comprobación de desalineación	76
Figura 2.25: Ensayo de flexión a tres puntos	76
Figura 2.26: Ensayo de flexión a cuatro puntos	77
Figura 2.27: Probeta y utillaje Celanese para ensayos de compresión	79
Figura 3.1: Tipos de láminas	83
Figura 3.2: Laminado trabajando en tensión plana (izquierda) y laminado trabajando a flexión (derecha)	89
Figura 4.1: Cargas críticas de pandeo para diferentes condiciones de contorno	98
Figura 4.2: Geometría de la probeta para tracción	100
Figura 4.3: Geometría de la probeta para compresión	101
Figura 4.4: Geometría de la probeta para flexión	101
Figura 4.5: Esfuerzos para el ensayo de tracción	107
Figura 4.6: Desplazamiento para el ensayo de tracción	108
Figura 4.7: Tensión para el ensayo de tracción	109
Figura 4.8: Deformación para el ensayo de tracción	110
Figura 4.9: Esfuerzos para el ensayo de compresión	111
Figura 4.10: Desplazamiento para el ensayo de compresión	111
Figura 4.11: Tensión para el ensayo de compresión	112
Figura 4.12: Deformación para el ensayo de compresión	112
Figura 4.13: Esfuerzos para el ensayo de flexión	113
Figura 4.14: Desplazamiento para el ensayo de flexión	114
Figura 4.15: Tensión para el ensayo de flexión	115
Figura 4.16: Deformación para el ensayo de flexión	115
Figura 5.1: Fibra de Vidrio Nacional tipo Malla	116
Figura 5.2: Resina Poliéster	117
Figura 5.3: Resina Poliéster # 83	117
Figura 5.4: Peróxido de metil-etil-cetona MEKP	118
Figura 5.5: Azul de Cobalto	119
Figura 5.6: Fotografías de los moldes	120
Figura 5.7: Fotografía del molde con el desmoldante	121

Figura 5.8: Corte de fibra de vidrio para la probetas	126
Figura 6.1: Celda de carga CDC 20000	130
Figura 6.2: DIGITALER DEHNUNGSMESSER	130
Figura 6.3 Máquina de ensayos universales AMSLER RM29	132
Figura 6.4 Extensómetro sobre la zona de tracción	133
Figura 6.5 Medidor de deformaciones	133
Figura 6.6 Fuerza vs. Desplazamiento para ensayo de tracción	134
Figura 6.7 Probetas posterior al ensayo de tracción	134
Figura 6.8 Alineamiento de la probeta sobre la Máquina	135
Figura 6.9 Fuerza vs. Desplazamiento para el ensayo de compresión	136
Figura 6.10 Probetas posterior al ensayo de compresión	136
Figura 6.11 Medición de distancia entre apoyos	137
Figura 6.12 Aplicación de carga a la probeta de flexión	137
Figura 6.13 Fractura de la probeta de flexión	138
Figura 6.14 Fuerza vs. Desplazamiento de flexión	138
Figura 6.15 Esfuerzos para pieza estructural	139
Figura 6.16 Desplazamiento para pieza estructural	140
Figura 6.17 Tensión para pieza estructural	141
Figura 6.18 Deformación para pieza estructural	142
Figura 6.19 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la primera probeta a tracción	143
Figura 6.20 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la segunda probeta a tracción	144
Figura 6.21 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la tercera probeta a tracción	145
Figura 6.22 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la cuarta probeta a tracción	146
Figura 6.23 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la primera probeta a compresión	148
Figura 6.24 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la segunda probeta a compresión	149

Figura 6.25 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la tercera probeta a compresión	150
Figura 6.26 Curva Esfuerzo vs. Deformación para la cuarta probeta a compresión	151

## Nomenclatura

$\epsilon_p$	Deformación plástica
$\epsilon_l$	Deformación elástica
P	Carga
L	Longitud
E	Modulo de elasticidad
V	Volumen de fibra
$\sigma$	Esfuerzo
G	Modulo de cortante
V	Coefficiente de poisson
Nf	Numero de hilos por cm
A	Área de sección transversal
Lc	Longitud critica de la fibra
$\tau$	Resistencia al cizallamiento
K	Factor de corrección
$\delta$	Desplazamiento
I	Inercia
M	Momento

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: Planos

ANEXO B: Resultados del analisis en COSMOSWORKS 2005

ANEXO C: Normas

## RESUMEN

### OBJETIVOS

- Realizar un estudio teórico de materiales compuestos en base de fibra de vidrio y resina.
- Estudio del proceso de fabricación de materiales compuestos de fibra de vidrio nacional y resina.
- Proponer una metodología del diseño para la elaboración de piezas estructurales en fibra de vidrio nacional y resina.
- Diseñar y construir elementos estructurales sometidos a cargas simples.
- Diseñar y construir un elemento estructural para la validación de resultados.
- Diseñar aplicando un software adecuado.
- Realizar ensayos mecánicos sobre probetas de fibra de vidrio nacional y resina.
- Realizar ensayo de fatiga sobre un elemento estructural en fibra de vidrio nacional y resina.
- Comparar resultados obtenidos en el diseño con los obtenidos en forma práctica.
- Analizar los resultados.
- Realizar análisis económico y financiero del proyecto.

Un material compuesto es un sistema de materiales constituidos por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

La importancia de un material compuesto para la ingeniería radica en que dos o más materiales distintos se combinen para formar un material compuesto cuyas propiedades sean superiores, o en algún modo más importantes que las de sus componentes.

La fibra es un elemento de refuerzo del material compuesto, pues aporta resistencia mecánica:

- ◆ Tracción
- ◆ Rigidez
- ◆ Dureza

Además es determinante para obtener las principales propiedades mecánicas del compuesto, las características más importantes de las fibras en los materiales compuestos son su resistencia a la tracción específica y su modulo específico.

Las dos clases mas importantes de vidrio utilizadas para la fabricación de fibras de vidrio para materiales compuesto son los vidrios E (eléctricos) y los vidrios S (de alta resistencia).

La matriz es la masa de material orgánico o inorgánico que permite dar la forma a la pieza y aporta con resistencia mecánica a la compresión, por lo general se utilizan matrices (resinas) liquidas termoestables.

Para mejorar la procesabilidad del material compuesto se utiliza:

1. Sistema catalítico (endurecedor, inhibidor, estabilizantes térmicos, antioxidantes)
2. Lubrificantes.
3. Agentes de desmolde (reducen la tendencia de la resina a pegarse en la superficie de los moldes).
4. Agentes de flujo.
5. Agentes trioxotrópicos (evitan el descuelgue de resina en paredes verticales).

Existen varios tipos de resinas epoxi o también llamadas gel coats, las cuales son capas superficiales de resinas, se las debe aplicar cuando la pieza requiera una de las siguientes características:

- Calidad y estabilidad de color.
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia al agua.
- Resistencia al calor.

- Resistencia a la abrasión.
- Ausencia de porosidad superficial.
- Alto brillo, permanente en el tiempo.
- Resistencia a los productos químicos

El daño es el proceso físico progresivo por el cual un material se rompe, consiste en la rotura de enlaces tanto en el ámbito atómico como a nivel de grieta. Por lo general el daño es un fenómeno localizado.

Existen tres formas de analizar el daño, las cuales son:

- Escala microscópica: el daño consiste en la acumulación de micro tensiones en la frontera de micro grietas, y en la rotura de enlaces.
- Escala mesoscópica: el daño consiste en el crecimiento y coalescencia de micro grietas y micro huecos, que al juntarse inician una grieta.
- Escala macroscópica: el daño es el crecimiento de la grieta.

Para el desarrollo del presente proyecto se estipularon tres condiciones de carga, las cuales fueron:

- Tracción.
- Compresión.
- Flexión.

Debido a que dentro de nuestro territorio no existe ninguna organización o dependencia que haya realizado normas técnicas para ensayos de materiales compuestos, se tomo la decisión de utilizar las normas ASTM, las cuales nos indicaron la geometría requerida para los ensayos y además nos proporciono información acerca del procedimiento de análisis de este tipo de ensayos.

Luego de realizar y analizar los datos obtenidos en el laboratorio de resistencia de materiales se pudo observar que la matriz (fibra de vidrio + resina) se comporta como un material frágil, por lo cual sus diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria tienen una tendencia lineal, por lo cual al realizar el calculo del modulo de elasticidad se obtuvo un valor promedio de:

2657350000 Pa.

## CONCLUSIONES

- ◆ Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio nacional son muy inferiores a las estipuladas en las normas o libros, esto se debe a que nuestro proceso de producción no es selectivo.
- ◆ La fabricación de piezas con fibra de vidrio es un proceso manual, por lo cual es muy complicado obtener los mismos porcentajes de fibra y resina.  
Esto implica que con piezas idénticas nosotros obtenemos distintos valores de resistencia.
- ◆ Los errores porcentuales son un poco altos debido a que el programa cosmos Works asume que las fibras son perfectamente alineadas unas con otras, lo cual en la realidad nunca se da.
- ◆ Los datos obtenidos luego de haber culminado el proyecto son perfectamente utilizables y fiables.

## RECOMENDACIONES

- ◆ Antes de introducir el vidrio al proceso de fusión directa, es recomendable solo introducir vidrio tipo E o eléctrico.
- ◆ Se recomienda poner mas énfasis en el estudio de materiales compuestos, ya que esta es la única forma de poder desarrollar una tecnología apropiada que permita automatizar la producción de elementos estructurales.
- ◆ Recomendamos tratar de en lo posible realizar ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales que se asemejen a la realidad, ya que de esta forma se reducen los márgenes de error en simulación con software.
- ◆ Recomendamos utilizar fibra de vidrio en la construcción de elementos estructurales que estén sometidos a tracción.