

DISEÑO ESTRUCTURAL Y ESTANDARIZACION DE PLANOS PARA LA
FABRICACION DE FURGONES, EN LA EMPRESA FIBERCOL S.A.

JUAN FELIPE ORTIZ ARANGO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
SANTIAGO DE CALI
2006

DISEÑO ESTRUCTURAL Y ESTANDARIZACION DE PLANOS PARA LA
FABRICACION DE FURGONES, EN LA EMPRESA FIBERCOL S.A.

JUAN FELIPE ORTIZ ARANGO

Pasantía para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Director
HECTOR ENRIQUE JARAMILLO SUAREZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
SANTIAGO DE CALI
2006

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Ing. HECTOR ENRIQUE JARAMILLO SUAREZ
Director

Santiago de Cali, Julio de 2006

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	8
INTRODUCCION	9
1. CARACTERIZACION Y CONFIGURACION DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACION DE PANELES.	11
1.1. COMPONENTES DE LOS PANELES	11
1.1.1 La resina	11
1.1.2 La fibra de vidrio	12
1.1.3 El Gel coat	12
1.1.4 El poliuretano	13
1.2. CONFIGURACION DE LOS PANELES	13
2. ANALISIS ESTRUCTURAL	16
2.1 CALCULO DEL PANEL	17
2.2. REFUERZOS ESTRUCTURALES	20
2.3. ANALISIS ESTRUCTURAL DEL INSERTO METALICO	22
3. CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFIA	27

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Consumo en unidades equivalentes	13
Tabla2. Coeficientes de deflexión en vigas	17
Tabla 3. Secciones nervuradas	20
Tabla 4. Resistencia a la flexión de vigas-Coeficientes	21
Tabla 5. Resultados de análisis para columnas.	24

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Predicción de espesor. Relación resina/vidrio.	14
Figura 2. Configuración del panel	15
Figura 3. Dimensiones del panel	18

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Paper	28

RESUMEN

El PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) es un material compuesto, perteneciente al grupo de los plásticos termofijos el cual posee propiedades mecánicas excepcionales para la construcción de diversos productos.

Una de las tecnologías que se emplea en la empresa FIBERCOL S.A, es la fabricación de paneles, para la construcción de furgones, los cuales están dispuestos en estructuras sándwich. Estas estructuras proveen al producto, una gran rigidez, manteniendo la relación primordial en el material; resistencia/peso. Las materias primas que se involucran son las siguientes: resina poliéster insaturada reforzada con fibra de vidrio, gel coat, insertos metálicos, y poliuretano, un material de una densidad bastante baja, que además de servir como núcleo estructural, cumple con una característica esencial para la fabricación del producto, y es la de ser un buen aislante térmico, esto, para el transporte de carga que debe de ser conservada, a bajas temperaturas.

En la fabricación del producto, es necesario contar con planos confiables para su ensamble posterior, por esto la importancia de hacer un énfasis en las características de los materiales aquí involucrados. Esto, con el objetivo de predecir los espesores y así definir las tolerancias requeridas, para la construcción de este componente.

En muchas aplicaciones, aunque el material posee buenas propiedades mecánicas, es necesario utilizar insertos metálicos, con la finalidad de transmitir las cargas, a las cuales se ve sometido el producto y a la vez, para que ayuden a darle a éste, una rigidez y configuración geométrica apropiada.

INTRODUCCION

Debido al gran desarrollo que han tenido los materiales poliméricos termofijos, por características tan importantes como: su alta relación resistencia/densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a agentes corrosivos, se han visto involucrados de manera muy significativa, en áreas tan importantes como lo son: el de la construcción, aeronáutica y de transporte.

Cabe resaltar que aunque el trabajo con vidrio fundido se conoce hace miles de años, su potencial como material de refuerzo no se conoció hasta la introducción de los plásticos en el siglo XX. De hecho, aparte de la tecnología de los compuestos naturales, la industria de los materiales compuestos de hoy, se puede decir que nace con la inclusión de los primeros plásticos termofijos en 1909. Sin embargo, no fue sino hasta 1940 que el crecimiento de la industria de los materiales compuestos estructurales realmente comenzó.

El primer rango de resinas termofijas en el mercado, en la era moderna de los materiales compuestos, fueron las resinas de poliéster insaturado (principal materia prima del producto), las cuales se introdujeron en Gran Bretaña en 1946.

El desarrollo del poliéster reforzado con fibra de vidrio, en sus comienzos, no tuvo en cuenta el aspecto económico, pero a partir de 1947 se lograron desarrollar formas económicas de refuerzos como el mat (otro de los componentes utilizados en el producto). Ya en 1949 se tenía la resina translúcida adecuada, el refuerzo adecuado y precios asequibles, que influenciaron a comienzos de los 50 el desarrollo de partes de autos, cabinas y cubiertas de bote.

Así como el desarrollo de las resinas, se ha venido dando el desarrollo de las fibras desde 1950, con la introducción de vidrios especiales resistentes al ácido, además del desarrollo de una amplia gama de materiales tejidos y combinaciones entre tejidos y no tejidos e incluso con rigidizantes incorporados. Aunque la fibra de vidrio ha sido el rigidizante más utilizado, la necesidad de materiales más livianos y resistentes, ha llevado al desarrollo de las fibras de carbono (lo que ahora se está introduciendo en los chasis modernos) y aramida.

La aplicación de los plásticos reforzados en diferentes países es muy superior, debido a las condiciones y niveles de desarrollo, por esto, en algunos de ellos ya hay mercados saturados, mientras que en Colombia hay sectores donde apenas se están empezando a introducir estos materiales y por esto la gran oportunidad de entrar en el, y así entrar en la nueva era de los materiales compuestos de gran resistencia y con bajas densidades.

Lo que se quiere alcanzar en el desarrollo de este trabajo es entrar a hacer un análisis de este material, para poder predecir su comportamiento y así establecer los parámetros, que se requieren para la elaboración del producto, que en este caso, son los furgones. Para esto, se utilizarán conocimientos en el área de resistencia de materiales y herramientas de diseño tipo CAD, lo que hará, que el proceso sea más eficiente y preciso.

1. CARACTERIZACION Y CONFIGURACION DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACION DE PANELES.

Los paneles son piezas dispuestas en estructuras denominadas sándwich, esto debido a que involucra diferentes materiales, dispuestos y adheridos paralelamente. Contiene básicamente dos láminas delgadas, unidas a un núcleo ligero relativamente grueso, resultando así un panel ligero y rígido.

1.1. COMPONENTES DE LOS PANELES

El plástico reforzado con fibras de vidrio (PRFV), es un material compuesto, constituido por una estructura resistente de fibras de vidrio y un material plástico que en este caso, es la resina poliéster insaturada que actúa como aglomerante de las mismas. El refuerzo de fibra de vidrio provee al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química, dieléctrica y un gran comportamiento a la intemperie. El PRFV puede ser: traslúcido, opaco o de color, plano (láminas) o de determinadas formas, y de espesores diversos. Prácticamente no existen límites, en cuanto al tamaño de los objetos, partiendo de que se han construido cascos de embarcaciones, construidos en una sola pieza que miden más de 50 metros.

1.1.1. La resina. Esta resulta de combinar, ácidos polibásicos saturados o insaturados con glicoles. La usada en este trabajo, es la de poliéster insaturada. En una primera etapa son sólidas y para conferirle sus propiedades de polimerización, se deben disolver en un monómero (generalmente el usado es estireno), obteniéndose así un líquido espeso. Las resinas pasan del estado líquido al sólido por copolimerización del poliéster con el monómero, esta reacción química, se efectúa con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en nuestro caso el Mek Peróxido, a veces en combinación con otro producto químico acelerador, o por aporte de calor.

1.1.2. La fibra de vidrio. Hay dos tipos principales de fibra de vidrio, una gruesa y corta que se utiliza principalmente como aislante térmico. El otro tipo, consiste en filamentos continuos, que inmediatamente después del estirado, se agrupan formando hebras. Con estas hebras, a su vez, se forman o bien un hilo para tejerlo en forma de tela, o bien mechales de fibras. Dentro del grupo de filamentos continuos, se producen diferentes tipos de refuerzo, según las necesidades en cuanto a diseño y el proceso de transformación empleado.

Mechales continuas o Rovings, son la ejecución de miles de fibras básicas, y su presentación es en bobinas. Su empleo, abarca el moldeo por aspersión, enrollamiento, poltrusión, laminados continuos, etc.

Fieltros o Mats, constituyen un conjunto de fibras cortadas al azar, generalmente de 50 mm de largo, aglomeradas con resinas adecuadas. Se utilizan en moldeo manual, prensado, inyección y laminados continuos.

Telas y tejidos o woven rovings, se elaboran a partir de hilados y rovings, poseen alta resistencia bidireccional o unidireccional, y se emplean, cuando se requieren piezas de mayor resistencia mecánica.

1.1.3. El gel coat. Para darle al PRFV un buen acabado superficial con excelente apariencia y resistente a condiciones del medio ambiente se emplea el *gel coat*, este igualmente es un producto plástico formulado a base de resina poliéster y aditivos especiales. Aunque es tan solo una fina película de recubrimiento sobre el producto, esta representa la protección, la coraza que defenderá el producto de agentes físicos y químicos externos, garantizando a la vez, una buena apariencia y una larga vida útil de todo el compuesto plástico. Una película de gel coat, tiene un espesor que puede variar entre 0,3 a 0,6 mm, según la cantidad de gramos que se agregue.

1.1.4. El Poliuretano. El otro material utilizado en la elaboración de los paneles para los furgones es *el poliuretano*, es un polímero que se obtiene por polimerización de determinados compuestos que contienen el grupo isocianato.

Los poliuretanos son resinas, que van desde las formas duras y aptas para recubrimientos resistentes a los disolventes, hasta cauchos sintéticos resistentes a la abrasión y espumas. En este caso, se utiliza en forma de espuma de una densidad bastante baja, en forma de plancha, situada entre las dos capas del plástico reforzado. Esto, para ayudar a la rigidez de la estructura, pero sobre todo, para aislar térmicamente nuestro producto el cual es uno de los requerimientos.

1.2. CONFIGURACION DE LOS PANELES

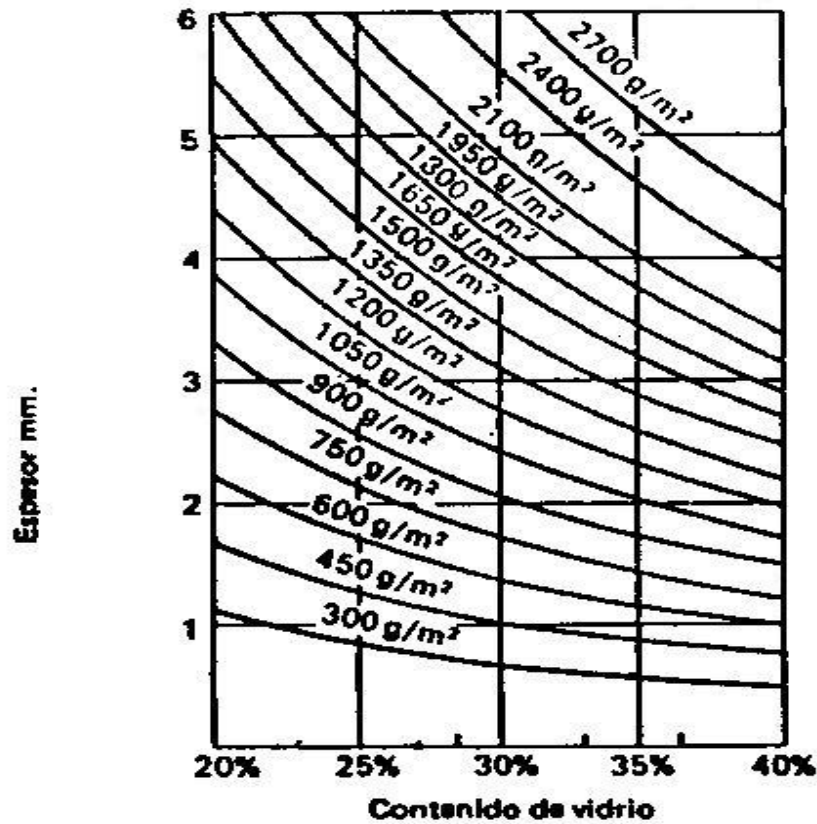
Como se había mencionado anteriormente, los paneles están dispuestos en estructuras sándwich. Para poder conseguir los espesores requeridos, es necesario establecer las características de las materias primas, que se venden comercialmente. En la siguiente tabla se muestran los materiales utilizados y el consumo, en unidades equivalentes que se requiere para construir un panel, partiendo y conociendo área de aplicación.

Tabla 1. Consumo en unidades equivalentes

MATERIAL	CONSUMO	ESPACIO OCUPADO
Gel Coat	400 – 500 gr.	1 m ²
Mat	450 gr.	1 m ²
Resina Poliéster	2.2 veces el consumo de la fibra mat	1 m ²
Meck Peroxido	1 – 1,5 % del consumo de la resina + el gel coat	1 m ²
Poliuretano	1 Kg.	1 m ³ * 38

El espesor de la fibra ya impregnada con el contenido de resina adecuado, se obtiene del análisis de la siguiente figura.

Figura 1. Predicción de espesor. Relación resina/vidrio.



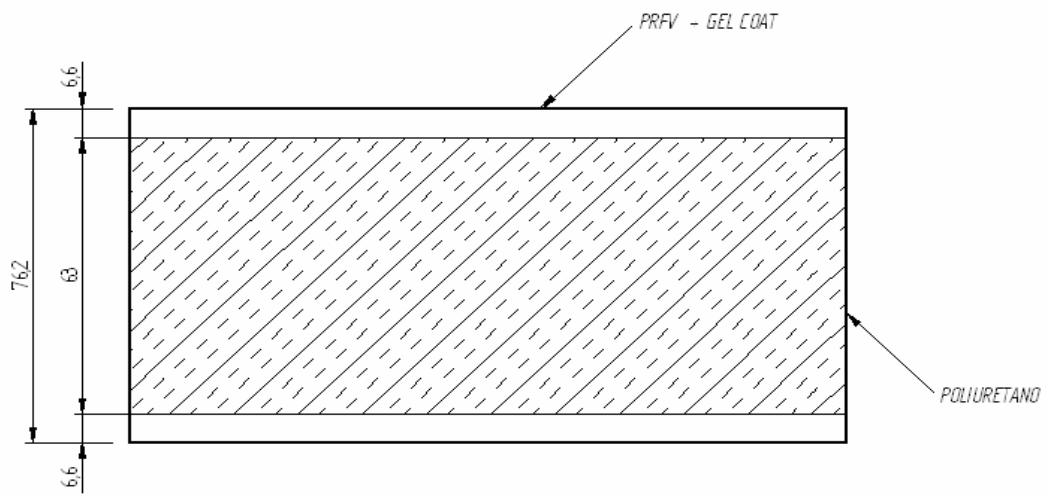
ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín: S.n., 1997. p.11.

Dado a que el mat que se utiliza contiene un porcentaje de vidrio del 30%, obtenemos un espesor de 1mm, por cada tela de mat utilizada, así entonces, las dos láminas darían un espesor de 6 mm. Sumado esto a las capas del gel coat, tendríamos un total parcial de 6,6 mm, que vendría siendo la parte primordial de esta estructura, por sus propiedades mecánicas y acabado superficial.

Habiendo deducido los espesores de la materia prima involucrada, y partiendo del siguiente supuesto; el espesor recomendado para transportar carga alrededor de los 4⁰C, es de 3", (según cálculos de transferencia de calor, el cual no es el análisis de este estudio) para la estructura sándwich.

Queda entonces establecida la configuración del panel, la cual es presentada en la figura 2.

Figura 2. Configuración del panel



2. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LOS PANELES

Como ya se había mencionado, el plástico reforzado con fibra de vidrio, cuenta con unas excelentes propiedades mecánicas y más aún, si se relacionan de manera directa con su peso, aunque esto, se ve afectado por una rigidez baja. Debido a lo anterior, es más importante, proyectar los objetos, con vista a obtener una rigidez adecuada. Existen diversos modos de lograrlo, el más sencillo de ellos sería, aumentar el espesor de la pieza moldeada. Pero teniendo en cuenta, que la rigidez de una sección transversal rectangular, aumenta con el cubo del espesor, se deduciría entonces que un laminado en fibra de vidrio, necesita aumentarse en un factor $\sqrt[3]{30}$, de esta manera, si se aumenta de espesor del laminado poco más de tres veces, tendrá la misma rigidez que el acero dulce. Pero existe un gran problema y es que esto resultaría costoso y se añadiría un peso adicional, aunque todavía menor que el acero, pero que acabaría anulando una de las principales razones de elección del PRFV.

En la práctica, la rigidez de los objetos moldeados con PRFV aumenta, empleando o introduciendo curvaturas u ondulaciones, en paneles bastante planos y puede ampliarse aún más, mediante la construcción con placas plegadas. Así mediante un diseño apropiado, pueden hacerse estructuras rígidas, Partiendo de láminas bastante delgadas.

Así pues, puesto que la rigidez es función del espesor, es posible ligar dos capas exteriores delgadas de laminado de PRFV, a un núcleo de baja densidad. Formando de este modo la estructura sándwich. En este caso, el núcleo es el poliuretano, el cual ayuda a resistir los esfuerzos cortantes y deflexiones, soportando también las cargas de aplastamiento localizadas, e impide, el abollamiento de las capas exteriores de plástico reforzado, cuando están sometidas a compresión. Las laminas de PRFV en la capa exterior, soportan los esfuerzos de flexión y por consiguiente las deflexiones.

2.1 Cálculo del panel. Se parte considerando que la rigidez de una pieza es función de la elasticidad del material y de la geometría de la misma, esto se expresa en la siguiente ecuación:

1. $D = E I$ donde: $D = \text{Rigidez}$
 $E = \text{módulo de elasticidad}$
 $I = \text{momento de Inercia}$

De aquí es donde se deduce que debido al bajo módulo de elasticidad del PRFV, comparado con otros materiales, es importante el aumento de la rigidez, mediante la adecuada geometría de la pieza.

También cabe resaltar que el PRFV es un material elástico, que cumple fielmente la ley de Hooke, en todo su rango de alargamiento, y que el material llega a su rotura sin que ocurra la fluencia. Es por este motivo que el diseño con PRFV se lleva a cabo, con el esfuerzo a rotura, usando claro está un correcto factor de seguridad.

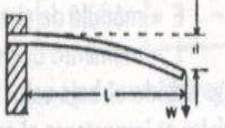
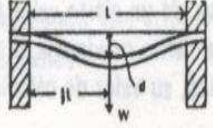
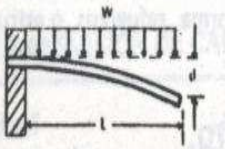
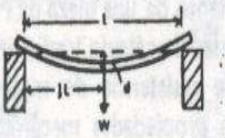
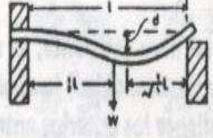
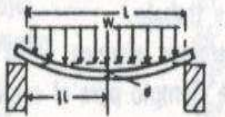
2. $FS = \frac{\sigma_{rotura}}{\max.esf.adm}$

Para poder determinar la deflexión que puede sufrir una estructura sándwich, se utiliza la ecuación, que rige el comportamiento de deflexión en una viga.

3. $\iint \frac{M}{EI} dx$; $M = \text{momento flector máximo}$, $dx = \text{diferencial de long.}$

Para abreviar el cálculo, se han establecido, para las diferentes condiciones de carga, y tipos de apoyo, los coeficientes de deflexión. Los cuales están representados en la siguiente tabla.

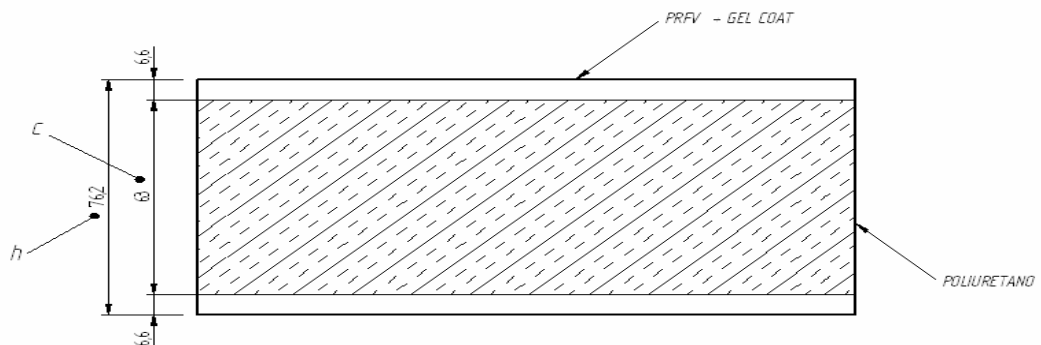
Tabla 2. Coeficientes de deflexión en vigas

 <p>empotrada en un extremo y cargada en el otro</p>	$\frac{WL^3}{3EI}$	 <p>empotrada en ambos extremos y cargada en el centro</p>	$\frac{WL^3}{192EI}$
 <p>empotrada en un extremo y uniformemente cargada</p>	$\frac{WL^4}{8EI}$	 <p>empotrada en ambos extremos y uniformemente cargada</p>	$\frac{WL^4}{384EI}$
 <p>apoyada en ambos extremos y cargada en el centro</p>	$\frac{WL^3}{48EI}$	 <p>empotrada en un extremo y apoyada en el otro y cargada en el centro</p>	$\frac{WL^3}{192EI}$
 <p>apoyada en ambos extremos y uniformemente cargada</p>	$\frac{5WL^4}{384EI}$	 <p>empotrada en un extremo y apoyada en el otro, y uniformemente cargada</p>	$\frac{WL^4}{187EI}$

ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín: S.n., 1997. p.16.

Se comenzará calculando la rigidez del panel o estructura sándwich.
(Ecuación 1.) Partiendo de las dimensiones de la figura 3.

Figura 3. Dimensiones del panel.



$$4. D = \frac{E_s * b * (h^3 - C^3)}{12} \Rightarrow E_s = \text{Módulo del plástico reforzado}$$

b = Base de la viga.

La anterior ecuación ignora la rigidez del núcleo, lo cual es razonable, debido a que el núcleo usado, es poliuretano, el cual cuenta con esta despreciable propiedad.

$$D = \frac{75000 \text{Kg/cm}^2 * 100 \text{cm} * 96,5 \text{cm}^3}{12} = 603,12 * 10^5 \text{Kg.cm}$$

Nota: Los datos de los diferentes módulos y esfuerzos a rotura, se anexan en una tabla con el trabajo.

Habiendo obtenido la rigidez del panel, para 1m de base, se procede a calcular la deflexión, con la ecuación mostrada en la tabla 2. Teniendo en cuenta que la viga, está apoyada en sus dos extremos, con una carga distribuida de 500 Kg en 1 m², la cual para estas condiciones, da un coeficiente de:

$$5 W L^3 / (384 * EI).$$

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación desarrollada 3 obtengo:

$$d = \frac{5W * L^3}{384 * D} ; d = \text{Deflexión de la viga}$$

W = carga soportada

L = Longitud de la viga

D = Rigidez de la viga

$$d = \frac{500 \text{Kg} * 100^3 \text{cm}^3}{384 * 603,12 * 10^5 \text{Kg.cm}} \approx 0,11 \text{ cm} \approx 1,1 \text{ mm}$$

2.2 Refuerzos estructurales. Aunque vemos que la estructura soporta la carga utilizada, por factores de seguridad, se añaden refuerzos con una configuración geométrica nervurada tipo Omega, lo cual, como se había descrito antes, añadía a la estructura rigidez y por lo tanto resistencia.

Para realizar el cálculo de estas secciones, se parte de las siguientes condiciones de trabajo, añadido al anterior cálculo:

Una carga de 150 Kg, una longitud de 100 cm, y una deflexión máxima de 2mm. Como estas secciones nervuradas van insertas dentro del panel, haciendo parte del núcleo, su condición es de empotramiento en los dos extremos, soportando la carga distribuida descrita.

Para este tipo de situación se tiene un coeficiente de deflexión de :

$$W.L^3 / (384 E.I)$$

Despejando la inercia de la ecuación desarrollada 3 con el anterior coeficiente, se obtiene:

$$I = \frac{W * L^3}{384 * E_s * d} \Rightarrow I = \frac{150Kg.(100cm)^3}{384 * 75000Kg/cm^2 * 0,2cm} = 26,04 \text{ cm}^4$$

$$I \approx 260.000 \text{ mm}^4$$

Observando en la tabla siguiente. Secciones nervuradas, con la Inercia obtenida y con el espesor dispuesto, hallo la sección que se acomode a estos parámetros.

Tabla 3. Secciones nervuradas

Espesor (mm)	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
ancho base (mm)	160	160	160	120	120	120	100	100	100	60	60	60
h (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
y (mm)	12.71	13.19	13.87	14.53	15.02	15.51	15.67	16.17	16.66	18.63	19.16	19.69
A (mm ²)	596	888	1175	516	768	1015	476	708	935	396	588	775
z (mm ³)	14057	19917	25143	11426	16226	20524	10090	14338	18145	7374	10472	13241
I (mm ⁴)	178795	262785	343793	166019	243722	318345	158068	231780	302387	137358	200617	260677
h (mm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
y (mm)	9.66	10.15	10.64	11.11	11.61	12.12	12.03	12.55	13.06	14.50	15.05	15.59
A (mm ²)	557	829	1099	477	709	937	437	649	859	357	529	699
z (mm ³)	10802	15084	18800	8758	12274	15343	7713	10823	13542	5576	7824	9787
I (mm ⁴)	104320	153110	200096	97292	142523	185883	92818	135776	176837	80871	117730	152578
h (mm)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
y (mm)	6.90	7.42	7.93	7.98	8.50	9.03	8.68	9.21	9.74	10.61	11.17	11.73
A (mm ²)	518	773	1023	438	653	863	398	593	783	318	473	623
z (mm ³)	7637	10426	12754	6191	8497	10439	5443	7487	9212	3896	5365	6604
I (mm ⁴)	52732	77312	101107	49408	72251	94229	47250	68966	89769	41320	59927	77495
h (mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
y (mm)	4.53	5.07	5.61	5.23	5.78	6.34	5.70	6.26	6.82	7.03	7.63	8.22
A (mm ²)	482	718	951	402	598	791	362	538	711	289	418	550
z (mm ³)	4575	6023	7187	3728	4945	5931	3281	4365	5246	2333	3113	3742
I (mm ⁴)	20737	30526	40293	18514	28602	37578	18704	27333	35798	16408	23742	30781

h = altura
y = distancia al eje neutro
A = area
z = modulo resistente
I = momento de inercia


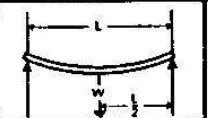

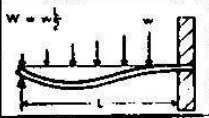
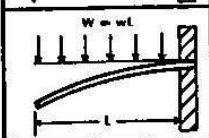
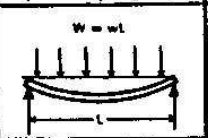
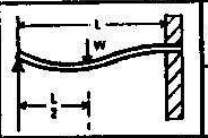
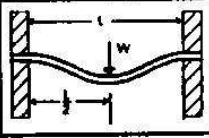
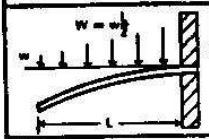
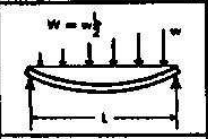
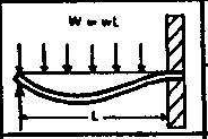
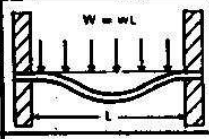
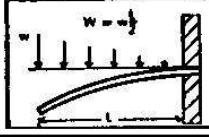
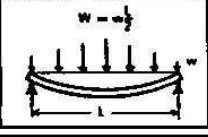
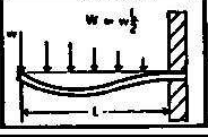
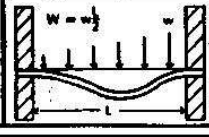
ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín: S.n., 1997. p.17.

La configuración Nervurada tipo Omega, queda de la siguiente manera:
 Espesor de 3mm, altura de 50mm, distancia al eje neutro de 13-19mm y base de 160mm, Con estos datos se halla el esfuerzo máximo a flexión (σ_{max}) el cual estará calculado mediante la siguiente ecuación:

$$5. \sigma_{max} = \frac{W * L * y}{Z * I}; \quad W = \text{carga}, L = \text{long}, Z = \text{módulo resistente.}$$

El módulo resistente se obtiene de la tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a la flexión de vigas-Coeficientes

	1 4			2 7-8	
	2 8			6-3 8	
	3 7-8			9 12	
	6-8 8			10-8 10	

ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín: S.n., 1997. p.16.

$$\sigma_{\max} = \frac{150\text{Kg} * 100\text{cm} * 1,6\text{cm}}{12 * 26,04\text{cm}^4} = 76,8 \text{ Kg/cm}^2$$

Mediante la ecuación 2, se comprueba si se obtiene el factor de seguridad apropiado para este análisis.

$$F.S = \frac{700\text{Kg/cm}^2}{76,8\text{Kg/cm}^2} = 9,1$$

2.3 Análisis estructural del inserto metálico. Esencialmente lo que se busca, es un elemento que le ayude a dar soporte y rigidez a esta estructura, cumpliendo a la vez, con ciertas características geométricas, algo ya mencionado.

Para esto, se recurre al diseño de columnas. Esto debido a que donde va inserto este material, es un elemento cargado axialmente a compresión (paneles laterales).

Este cálculo se empieza sacando la relación de esbeltez la cual está definida mediante la siguiente ecuación:

$$6. Re = \left(\frac{L}{K} \right) \quad \text{Donde:} \quad K = \left(\frac{I}{A} \right)^{1/2}$$

L: Es la longitud efectiva de la columna. (Según condiciones de apoyo).

K: Factor que determina una buena o mala estabilidad de una columna

A: Área transversal de la columna.

I: inercia de la sección.

Si $Re < 30 \Rightarrow$ Columna corta y se aplica la ecuación que el esfuerzo normal debe ser menor o igual al esfuerzo admisible.

Si $30 \leq Re < 120 \Rightarrow$ Columna intermedia y se aplica la ecuación de Jonson.

Si $Re > 120 \Rightarrow$ Columna larga y se aplica la ecuación de Euler.

Para los cálculos se tuvieron en cuenta secciones transversales cuadradas y ángulos.

Para un ángulo de 2" x 2" y de espesor 3/16" utilizamos la ecuación No 1. Para determinar, que tipo de columna es:

$$K = \left(\frac{0,27in^4}{0,71in^2} \right)^{1/2} = 0,616$$

Para saber la longitud efectiva, tenemos que en este caso, es una columna empotrada en los dos extremos, En esta condición se multiplica la longitud real de la columna por un factor de 0,65.

$$Re = \frac{78,74in * 0,65}{0,616} = 83,08$$

Dada esta relación entonces se dice que es una columna intermedia, para lo cual se debe aplicar la siguiente ecuación (Jonson):

$$7. P_{rupt} = \sigma_y A \left[1 - \frac{\sigma_y R e^2}{4\pi^2 E} \right] \text{ donde:}$$

P: es la carga de ruptura

σ_y : Esfuerzo de fluencia el cual para diseño, se cambiar por el esfuerzo admisible del material.

E: El módulo de elasticidad del material.

$$\Rightarrow \frac{P}{A} = \sigma_e \left[1 - \frac{\sigma_y R e^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$\frac{P}{0,71} = 30 \times 10^3 \left[1 - \frac{30 * 10^3 (83,08)^2}{4\pi^2 28 * 10^6} \right] \approx 245$$

$$P \approx 245 \text{ Kg.}$$

Dado que las columnas sometidas a estudio, quedaron en el rango de columnas intermedias, el cálculo para los otros perfiles es similar, y Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Resultados de análisis para columnas.

Dim. transversal	Area trans. (m^2)	Inercia (m^4)	Rel. esbeltez	P. critica (Kg)
SECCIONES CUADRADAS				
2" x 2" e = 3/16	1,27	0,668	70,6	511,6
2" x 2" e = 1/8	0,9375	0,551	66,763	384
1 1/2 x 1 1/2 e = 3/16	0,98	0,288	94,429	346
ANGULOS				
2" X 2" e = 3/16"	0,71	0,27	83,04	245
2" x 2" e = 1/8"	0,48	0,19	77,5	170,14

Dado que el perfil debe tener la configuración geométrica apropiada, se trabaja con el perfil en ángulo de espesor de 3/16", No omitiendo que debe soportar una carga, con un factor de servicio incluido de aproximadamente 217 Kg.

3. CONCLUSIONES

1. Es esencial conocer el comportamiento y características del material para lograr la configuración geométrica establecida y sobre todo para tener un pleno control del consumo de la materia prima, en el proceso de producción.
2. Lograr estandarizar el proceso de producción mediante soportes; como planos, ya que estos facilitan y aumentan la rentabilidad de este proceso, pues disminuye los tiempos de construcción e instalación del producto.
3. El PRFV posee una relación extraordinaria y es la de ser un material muy ligero teniendo a su vez excelentes propiedades mecánicas.
4. Si bien el PRFV es un material muy resistente pero a la vez muy elástico. Lo que lo hace por consiguiente, poco rígido. Para esto se diseñan adecuadas configuraciones estructurales, logrando no aumentar demasiado el peso del elemento, y en cambio si, añadirle la rigidez necesaria para el soporte de las cargas a la que se ve sometido este.

BIBLIOGRAFIA

ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín: S.n., 1997. 247 p.

BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, Russell Jr. Mecánica de materiales. Bogotá: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, 1982. 738 p.

GERE, James M., TIMOSHENKO, Stephen P. Mecánica de materiales. 2 ed. edición. Cuauhtémoc: Grupo editorial Iberoamérica S.A., 1986. 912 p.

KAMIK, Perelló. Características de la resina [en línea]. San Justo Buenos Aires: S.f. [consultado 29 Noviembre, 2005]. Disponible en Internet: http://www.kamik.com.ar/resinas_2.html/.

ORREGO, Ramiro N., VELEZ, Rafael I. Manual de aplicación del poliéster cristalin reforzado con fibra de vidrio. S.I.: Scott Bader Company limited, S.f. 82 p.

OWENS, Corning, Manual técnico del plástico reforzado con fibra de vidrio. Toledo, Ohio: S.n, S.f. 134 p.

PYTEL, Andrew, KIIUSALAAS, Joan. Ingeniería Mecánica. Estática. México: International Thomson editores, 1999. 526 p.

SANDRETTO, a Taylor's company. Los materiales plásticos [en línea]. Museo del plastico: S.n. S.f. [consultado 17 Febrero, 2006]. Disponible en Internet: [http:// www.sandretto.it/museo/SPAGNOLO/splasti.htm/](http://www.sandretto.it/museo/SPAGNOLO/splasti.htm/).

ANEXOS

Anexo A. Paper

ESTANDARIZACION DE PLANOS Y ANALISIS ESTRUCTURAL DE INSERTOS METALICOS, PARA LA FABRICACION DE PANELES EN PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

Juan Felipe Ortiz Arango

Universidad Autónoma de Occidente.

Juan_felipeo@hotmail.com

Cali, Colombia.

El PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) es un material compuesto, perteneciente al grupo de los plásticos termofijos el cual posee propiedades mecánicas excepcionales para la construcción de diversos productos.

Una de las tecnologías que se emplea, es la fabricación de paneles para la elaboración de furgones los cuales están dispuestos en estructuras sándwich, estas involucran los siguientes materiales: resina poliéster insaturada reforzada con fibra de vidrio, gel coat, insertos metálicos, y poliuretano un material de una densidad bastante baja que cumple con una característica esencial para la fabricación del producto y es la de ser un aislante térmico, para el transporte de carga que debe de ser conservada, a bajas temperaturas. Para la fabricación del producto es necesario contar con planos confiables para su ensamble posterior y por esto la importancia de hacer un énfasis en los diversos espesores de los materiales aquí involucrados, para así definir las tolerancias necesarias en la construcción de este componente. A su vez es relevante utilizar insertos metálicos que ayuden a dar una rigidez apropiada y una base estructural adecuada, que permita soportar las cargas a las cuales se va a ver sometido el producto.

1. INTRODUCCION

En el sector de los materiales compuestos se ha introducido una frase que dice que “el límite de los plásticos reforzados es la imaginación”. Todos los días se desarrollan nuevas aplicaciones y nuevas técnicas de transformación en áreas tan importantes como los son: el de la construcción, aeronáutica y de transporte.

En el presente trabajo se analizarán las características de los diferentes elementos que intervienen en la estructura compuesta, para así

realizar los diferentes planos que ayuden a la configuración e instalación del producto que se realiza en esta empresa. Así mismo se realizará un análisis de elementos que sirvan como soporte estructural y den la configuración geométrica apropiada en la elaboración de estos paneles para la construcción de furgones.

1.2 *Naturaleza del plástico reforzado.*

El plástico reforzado con fibras de vidrio es un material compuesto constituido por una estructura resistente de fibras de vidrio y un material plástico

que en este caso es la resina poliéster insaturada que actúa como aglomerante de las mismas.

El refuerzo de fibra de vidrio provee al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química, dieléctrica y un gran comportamiento a la intemperie.

1.3 Diseño y análisis estructural.

Dentro del desarrollo de este producto es de vital relevancia lograr la estandarización del proceso para lograr una mejor rentabilidad, principalmente por la disminución de tiempos, por esto la necesidad de contar con planos, los cuales den el soporte necesario para el ensamble y configuración espacial adecuada para la construcción de los paneles que estructuran los furgones, para esto se utilizará la ayuda de una herramienta tipo CAD en este caso el programa solid edge, el cual proporciona los instrumentos necesarios para la consecución del proyecto.

Se hará un análisis de columnas diseñadas por pandeo para poder elegir la mejor estructura que no añada mucho peso, que de una gran estabilidad y rigidez al elemento a desarrollar.

2. CARACTERIZACION Y CONFIGURACION DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACION DE PANELES.

Para poder determinar los espesores y poder establecer las tolerancias adecuadas para la fabricación del producto es necesario conocer las características generales de las diferentes materias primas que se utilizan.

La resina: Esta resulta de combinar ácidos polibásicos saturados o insaturados con glicoles. La usada en este trabajo es la de poliéster insaturada. En una primera etapa son sólidas y para conferirle sus propiedades de polimerización se deben disolver en un monómero (generalmente el usado es estireno), obteniéndose así un líquido espeso. Las resinas pasan del estado líquido al sólido por copolimerización del poliéster con el monómero, esta reacción química se efectúa con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en nuestro caso el Mek Peróxido, a veces en combinación con otro producto químico acelerador o por aporte de calor.

En unidades equivalentes dado por pruebas empíricas el consumo de la resina es cerca de 2,2 veces el consumo de fibra de vidrio en promedio.

La fibra de vidrio: La fibra de vidrio se produce estirando y enfriando rápidamente vidrio derretido.

Hay dos tipos principales de fibra de vidrio, una gruesa y corta que se utiliza principalmente como aislante térmico. El otro tipo consiste en filamentos continuos, que inmediatamente después del estirado se agrupan formando hebras. Con estas hebras, a su vez, se forman o bien hilo para tejerlo en forma de tela, o bien mechas de fibras. Dentro de este segundo grupo se producen diferentes tipos de refuerzo, según las necesidades en cuanto a diseño y el proceso de transformación empleado. Entre estas están los Rovings los cuales se presentan en bobinas, los mats que se presentan en telas, la fibra es aglomerada con resinas especiales la dirección de las mechas de fibra aquí es al azar, y por último los woven rovings que igualmente se presentan en forma de tela pero que se elaboran con hilados y tejidos en direcciones fijas.

La fibra de vidrio es uno de los materiales de más resistencia que existe que se fabrica a partir de materias primas fáciles de conseguir, además que es incombustible y resistente químicamente. Por esto se dice que la fibra de vidrio es el material ideal para reforzar los plásticos.

La fibra de vidrio que se utilizará, viene comercialmente de 450 g/m² con un contenido aproximado de 30% de fibra de vidrio.

El gel coat: Es la capa de terminación de este material compuesto, consiste en una formulación también a base de resina poliéster y se emplea para lograr un buen acabado superficial con excelente apariencia y resistente al medio ambiente. Este se aplica al molde antes de empezar a laminar, sus cualidades son muy superiores a la de una pintura, pues entra a formar parte de la pieza y tiene un espesor que puede variar entre 0,3 a 0,6 mm según la cantidad de gramos que se agregue.

El gel coat usado para que de un espesor de 0,3 mm de espesor se aplica una cantidad de 400 a 500 g dependiendo del tamaño y complejidad de la pieza.

El poliuretano: Es un polímero que se obtiene por polimerización de determinados compuestos que contienen el grupo isocianato. Los poliuretanos son resinas que van desde las formas duras y aptas para recubrimientos resistentes a los disolventes, hasta cauchos sintéticos resistentes a la abrasión y espumas flexibles. En este caso se utiliza en forma de espuma de una densidad bastante baja, en forma de plancha situada entre las dos capas del plástico reforzado.

La densidad del poliuretano usado en este trabajo es de 38 Kg/m^3 .

Según cálculos de transferencia de calor el cual no es el análisis de este estudio, el espesor recomendado para transportar carga alrededor de los 40°C , es de 3" para la estructura sándwich.

Entonces partiendo de esta dimensión, se empezarán a calcular los espesores de los diferentes componentes de la estructura. Esta llevará un acabado superficial idóneo por ambos lados por lo cual llevará gel coat en ambas láminas del PRFV, que según las características mencionadas del material, sumaría 0,6 mm de espesor. Luego se aplican dos telas de mat de 450 g/m^2 en cada una de las láminas, humectándolas debidamente con la resina. En la figura No 1 se muestra la predicción del espesor de la relación resina/vidrio.

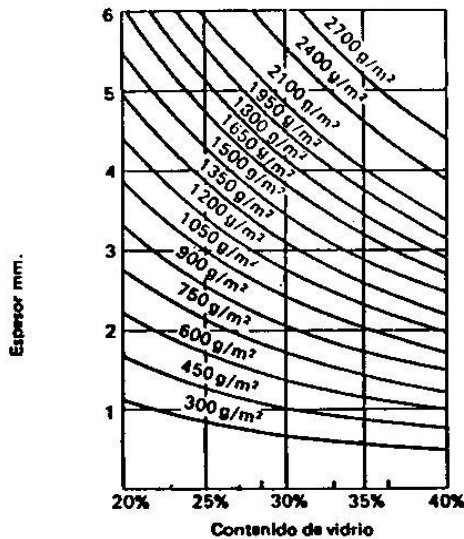


Fig. 1. Gráfico de predicción de espesor, relación resina-vidrio.

Dado a que el mat que se utiliza contiene un porcentaje de vidrio del 30% obtenemos un espesor de 1mm de espesor por cada tela de mat utilizada, así entonces la dos láminas darían un espesor de 4 mm. Sumado esto a las capas del gel coat tendríamos un total parcial de 4,6 mm que vendría siendo la parte primordial de esta estructura por sus propiedades mecánicas y acabado superficial.

Se añade en el núcleo, el inserto metálico que en este caso será un ángulo de acero estructural, de dimensiones 2"x 2" de 3/16" de espesor, el cual cumple con la geometría y la estructura apropiada para estos paneles.

Finalizando el proceso se añade el poliuretano en el núcleo, envolviendo el inserto metálico, el cual ayuda igualmente a dar la rigidez necesaria y cumple con la característica de ser un buen aislante térmico, que es sustancialmente lo que se requiere.

La figura No 2 muestra un plano esquemático de la configuración sándwich mencionada anteriormente.

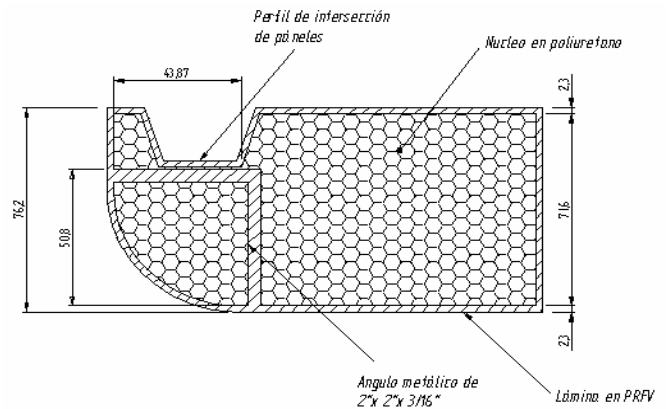


Fig. 2. Plano de área transversal de un panel frontal.

Por consiguiente es indispensable saber el volumen de la pieza a construir para saber la cantidad exacta de la materia prima a utilizar, consiguiendo así los espesores deseados.

2.1 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL INSERTO METALICO.

Esencialmente lo que se busca, es un elemento que le ayude a dar soporte y rigidez a esta estructura, cumpliendo a la vez con las características geométricas, algo ya mencionado.

Para esto se recurre al diseño de columnas debido a que es un elemento cargado axialmente a compresión.

El cálculo se empieza sacando la relación de esbeltez la cual está definida mediante la siguiente ecuación:

$$1. Re = \left(\frac{L}{K} \right) \quad \text{Donde:} \quad K = \left(\frac{I}{A} \right)^{1/2}$$

L: Es la longitud efectiva de la columna. (Según condiciones de apoyo).

K: Factor que determina una buena o mala estabilidad de una columna

A: Área transversal de la columna.

I: inercia de la sección.

Si $Re < 30 \Rightarrow$ Columna corta y se aplica la ecuación que el esfuerzo normal debe ser menor o igual al esfuerzo admisible.

Si $30 \leq Re < 120 \Rightarrow$ Columna intermedia y se aplica la ecuación de Johson

Si $Re > 120 \Rightarrow$ Columna larga y se aplica la ecuación de Euler.

Para los cálculos se tuvieron en cuenta secciones transversales cuadradas y ángulos.

Para un ángulo de 2" x 2" de espesor 3/16" utilizamos la ecuación No 1. para determinar que tipo de columna es:

$$K = \left(\frac{0,27in^4}{0,71in^2} \right)^{1/2} = 0,616$$

Para saber la longitud efectiva, tenemos que en este caso es una columna empotrada en los dos extremos, para esta condición se multiplica la longitud real de la columna por un factor de 0,65.

$$Re = \frac{78,74in * 0,65}{0,616} = 83,08$$

Dada esta relación entonces se dice que es una columna intermedia para lo cual se debe aplicar la siguiente ecuación (Jonson):

$$2. P_{rupt} = \sigma_y A \left[1 - \frac{\sigma_y Re^2}{4\pi^2 E} \right] \text{ donde:}$$

P: es la carga de ruptura

σ_y : Esfuerzo de fluencia el cual para diseño, se cambiar por el esfuerzo admisible del material.

E: El módulo de elasticidad del material.

$$\Rightarrow \frac{P}{A} = \sigma_e \left[1 - \frac{\sigma_y Re^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$\frac{P}{0,71} = 30 \times 10^3 \left[1 - \frac{30 * 10^3 (83,08)^2}{4\pi^2 28 * 10^6} \right] \approx 245$$

$$P \approx 245 \text{ Kg.}$$

Dado que las columnas sometidas a estudio quedaron en el rango de columnas intermedias, se pondrá el resultado del análisis en el cuadro No1.

Tabla 1. Resultados de análisis estructural para columnas con dos tipos de sección.

Dim. transversal	Area trans. (in ²)	Inercia (in ⁴)	Rel. esbeltez	P. crítica (Kg)
SECCIONES CUADRADAS				
2" x 2" e = 3/16	1,27	0,668	70,6	511,6
2" x 2" e = 1/8	0,9375	0,551	66,763	384
1 1/2" x 1 1/2" e = 3/16	0,98	0,288	94,429	346
ANGULOS				
2" X 2" e = 3/16"	0,71	0,27	83,04	245
2" x 2" e = 1/8"	0,48	0,19	77,5	170,14

Dado que el perfil debe tener la configuración geométrica apropiada, se trabaja con el perfil en ángulo de espesor de 3/16", No omitiendo que debe soportar una carga con un factor de servicio incluido de aproximadamente 217 Kg.

3. CONCLUSIONES

1. Si bien el PRFV es un material muy resistente pero a su vez muy elástico lo que lo hace por consiguiente, poco rígido. Esto se puede corregir mediante una adecuada geometría de la pieza ya sea en cuanto a su forma, refuerzos o estructuras sandwich.
2. Es esencial conocer el comportamiento y características del material para lograr la configuración geométrica establecida y sobre todo para tener un pleno control del consumo de la materia prima, en el proceso de producción.
3. Lograr estandarizar el proceso de producción mediante soportes, como los planos, facilita y aumenta la rentabilidad de este pues disminuye los tiempos de construcción e instalación del producto.
4. El PRFV posee una relación extraordinaria y es la de ser un material muy ligero teniendo a su vez excelentes propiedades mecánicas.

4. REFERENCIAS

BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, Russell Jr. Mecánica de materiales. Bogotá: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana 1982.

GERE, James M., TIMOSHENKO, Stephen P. Mecánica de materiales. Segunda edición. Cuauhtémoc: Grupo editorial Iberoamérica S.A. 1986.

ORREGO, Ramiro N., VELEZ, Rafael I. Manual de aplicación del poliéster cristalin reforzado con fibra de vidrio. Edición Scott Bader Company limited.

ANDERCOL S.A. manual del seminario Plásticos reforzados. Medellín 1997.