

ESTUDIO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CARROCERÍA EN ALUMINIO PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO DE TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS Y AHORRO DE ENERGÍA

Ing. Alberto Rubén Blanco¹, Ing. Leonardo Martín Vereá²

1-Facultad de Ingeniería, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina.
arblanco@ing.unlp.edu.ar

2-Facultad de Ingeniería, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina.
martinverea@gmail.com

Palabras clave: Ómnibus Híbrido, Ómnibus Eléctrico, Transporte Urbano de Pasajeros, Eficiencia Energética, Diseño Estructural.

Resumen

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata a través de la UID-G.E.T.V.A., dependiente del Área Departamental Mecánica, en el año 2007 concretó la construcción de un Ómnibus Híbrido para el Transporte Urbano de Pasajeros como resultado de las tareas de investigación y desarrollo [1] realizadas en conjunto con empresas tercerizadas. Es así que continuando con el compromiso ambiental comienza a elaborar las pautas para lograr un vehículo híbrido eléctrico segunda versión y otro eléctrico puro, para el transporte urbano de pasajeros proyectado para el uso en todo el territorio nacional.

Los vehículos eléctricos hoy en día son más costosos que los vehículos impulsados con motores de combustión interna, principalmente, por el costo de las baterías; es de importancia fundamental hacer vehículos eléctricos eficientes y con productos nacionales existentes o a desarrollar. La reducción del peso es uno de los caminos más obvios para alcanzar mayor eficiencia en el consumo de energía de un vehículo, incluyendo a los eléctricos. Para minimizar el peso del vehículo es necesario utilizar materiales de menor densidad que la del acero (principal material utilizado en la fabricación de carrocerías); estudios sobre vehículos livianos, determinan que el reemplazo por aluminio del acero en elementos estructurales, hace que, salvando el costo directo de las baterías, el valor del vehículo sea un poco mayor que el original; pero se reduce en un 10% los costos operativos, requeridos para un vehículo eléctrico convencional. Esto estaría atacando uno de los mayores obstáculos del sistema híbrido o eléctrico de un vehículo de transporte urbano [2]. Se debe tener en cuenta que siempre es necesario un rediseño. Por lo anteriormente mencionado, se toma como punto de partida comenzar a trabajar sobre una carrocería de ómnibus hecha en aluminio, buscando la reducción significativa de peso, frente a las convencionales en acero. En este trabajo, se desarrolla el diseño de una carrocería hecha en aluminio para disminuir el consumo de energía necesaria para el transporte.

Además, se observa que las empresas productoras de aluminio para el uso en carrocerías fomentan y contribuyen al desarrollo de las mismas.

1. Introducción

El diseño de la carrocería realizada en aluminio partió de una carrocería de un ómnibus convencional; que generó los lineamientos a seguir. Se hicieron múltiples iteraciones sobre la carrocería en acero; los datos obtenidos generaron valores de las cargas de sometimiento para la nueva estructura de aluminio. Los perfiles para el modelo de cálculo conservaron la geometría. Para la simulación de los modelos se usó un software de cálculo y la técnica de elementos finitos, esto permitió la flexibilidad para realizar las iteraciones definiendo así una estructura final. Luego se incorporó el estudio del Manual de Especificaciones Técnicas (MET) de la Comisión Nacional de Regulación de Transporte y se optimizó el resultado anterior.


Para el desarrollo de las tareas llevadas a cabo se consideraron siempre las siguientes premisas:

- Desarrollar tecnología propia, adecuada a las necesidades y posibilidades locales.
- Ser dueña de la mayor parte posible del Know-How necesario.
- Tener recursos humanos propios de excelencia.

Las soluciones de hoy en día para el uso del aluminio en vehículos de transporte en reemplazo del acero se ven a través de sustituciones parciales de partes o módulos completos que por lo general, se montan sobre una estructura de acero (chasis). Esto último es debido a que aún las empresas pueden considerarse demasiado rígidas para afrontar la conversión total; lo que hace que sean empresas de bajos volúmenes de producción o específicas las que sean las precursoras.

Un ejemplo de referencia, corresponde a ómnibus en aluminio donde se ahorra el 46% del peso de la carrocería con respecto a una de acero. Son 1400 Kg de peso ahorrados, lo que equivale al 12% del total del ómnibus, acompañado de una mejora del 6% en la economía de consumo de combustible, evitando la emisión de 50 Ton de CO₂ en el ciclo de vida del producto. (Tabla1). [3]

Tabla 1. Alternativas sustentables a ómnibus urbanos convencionales.

	Ómnibus de Acero	Ómnibus de Aluminio	Ómnibus de Aluminio + adicionales	Ómnibus de Aluminio con tracción híbrida
			Adicionales: -Chasis -Ullantas -Tanques de combustible -Suspensión y partes de frenos	
Diseño	Chasis de acero/ Carrocería de acero	Chasis de acero/ Carrocería de aluminio	Chasis de aluminio/ Carrocería de aluminio	Chasis de acero/ Carrocería de aluminio
Peso en vacío (Kg)	12.140	10.720 (12% de reducción)	9.900 (18% de reducción)	12.500
Mejora en la economía de consumo de combustible	-	6%**	9%**	30%
Reducción de CO ₂ (por ómnibus a lo largo su vida útil)	-	50 MT**	75 MT**	250 MT
Diferencia de costo	-	↑	↑↑	↑↑↑

* el redimensionamiento del sistema propulsor para un vehículo más ligero podría resultar en un 3% más de mejora

2. Objetivo

El objetivo es el análisis y diseño de una carrocería en aluminio para el uso en un vehículo híbrido y/o eléctrico de transporte urbano de pasajeros.

3. Alcance

Diseño estructural de una carrocería de un ómnibus en aluminio de 10 m de largo.

4. Diseño

El conjunto estructural de las partes componentes del ómnibus se separan en dos: un chasis y una carrocería. El primero se encarga de soportar los esfuerzos de marcha y sirve de soporte a la carrocería.

Dentro de los lineamientos de diseño se establece usar una estructura modular. Esta solución presta las mejores soluciones para bajos volúmenes de producción y permite una flexibilidad mayor a la hora de cambios. El diseño por módulo es menos demandante en herramientas específicas a la hora de la construcción y además ofrece la ventaja de hacer más fáciles las tareas de reparación.

Para la construcción, los componentes de aluminio preferidos son los perfiles extruidos, chapas dobladas rectas, piezas simples a partir de láminas y fundición.

La técnica básica para construir la carrocería en grandes vehículos de transporte comienza con la fabricación de pórticos que se sujetan a un marco para vincularse entre sí para cumplir con las condiciones de resistencia que se establecen en la normativa vigente [4].

Los componentes estructurales de la carrocería en aluminio serán soldados o unidos mediante uniones mecánicas "rápidas", con la posibilidad de combinarlas con adhesivos.

Toda la carrocería se sujetará al chasis mediante uniones abulonadas y juntas de separación no conductoras para evitar el par galvánico.

El vestido de la carrocería será pegado y atornillado mediante tornillos auto-perforantes.

Los laterales y el techo serán autoportantes e irán fijados a los pórticos de la estructura, estos se definen en la etapa de ingeniería de detalle con la continuación del proyecto para el vehículo híbrido/eléctrico de transporte urbano de pasajeros en aluminio.

Debajo se puede observar dos ejemplos de diseños por parte de empresas internacionales.

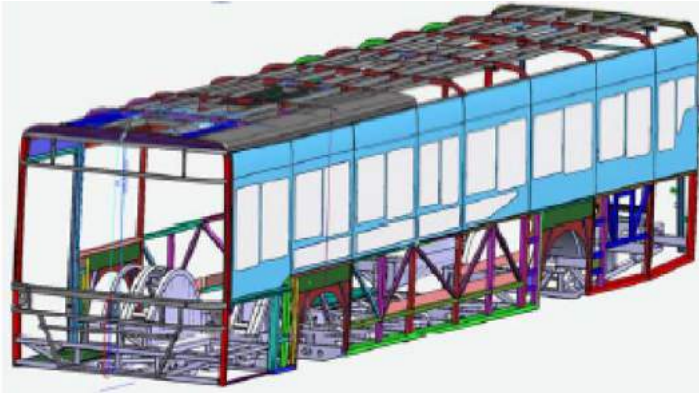


Figura 1. Diseño ALCOA-YUTONG.

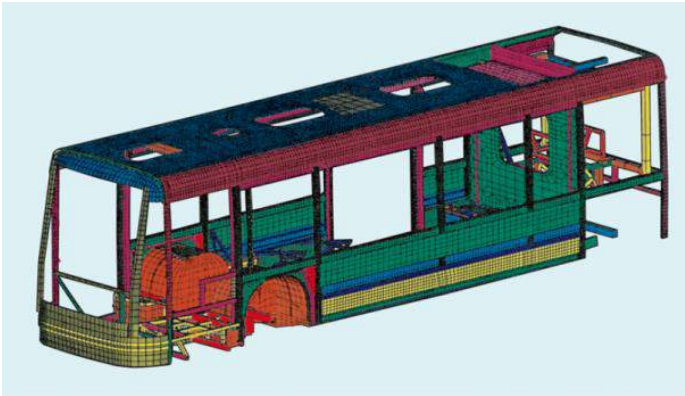


Figura 2. Diseño COSTELLIUM.

5. Selección de Aleaciones

De acuerdo a la elección realizada siempre queda un abanico de posibilidades y combinación de éstas teniendo en cuenta la disponibilidad, propiedades y la aptitud de elaborados en las distintas aleaciones de aluminio elegidas que brindan el mercado nacional e internacional para su aplicación.

El análisis que dio el resultado de la aleación a utilizar para la estructura de la carrocería en aluminio comenzó con la búsqueda de empresas cercanas que consuman semielaborados para aplicaciones relacionadas con el transporte, destacándose sólo un fabricante de tráileres y tanques cisternas por ser el más relevante produciendo para el mercado interno y externo. También se observó a productores de elaborados de aluminio, nacionales e internacionales; donde sus aleaciones ofrecidas se pueden ver en la tabla 2 con sus aplicaciones usuales.

Tabla 2. Aplicaciones típicas de aleaciones.

Aleación	Algunas aplicaciones típicas de las aleaciones
1050	Equipamiento para industria química, carros tanque de ferrocarril
1100	Conformado de chapa, repujado
2024	Llantas de camión, estructuras aeronáuticas
3003	Utensilios de cocina, equipamiento de industria química, recipientes a presión, conformado de chapa, constructores de hardware, tanques de almacenamiento
5052	Conformado de chapa, tuberías soldadas
5083	Recipientes a presión, usos marinos y criogenia, torres de televisión, equipos de perforación componentes de equipo de transporte de misiles
5856	Recipientes a presión, usos marinos y criogenia, torres de televisión, equipos de perforación componentes de equipo de transporte de misiles
6061	Estructuras de servicio pesado que requieren una buena resistencia a la corrosión, camiones y naves marinas carros de ferrocarril
6063	Perfilería para automóviles, tubos, rails, estructuras de arquitectura y perfilera extrudida.
7075	Estructuras aeronáutica y otras

Un análisis más detallado de las mismas permitió observar sus propiedades y composiciones [5] que, finalmente determinan como el material para la estructura de la carrocería a la aleación 6063 en perfilera, mientras que para el uso como laminas se deja abierta la elección hasta la etapa de detalle sobre las aleaciones 1050, 1100, 3003 o 5052 de acuerdo a la de mayor disponibilidad y costo.

6. Estimación del dimensionamiento de la perfilera en aluminio

Dada la disponibilidad de perfiles estructurales en aluminio se eligen una serie de estos a ser propuestos como el reemplazo de los existentes en acero aleado, tratando de conservar las dimensiones generales de los paneles laterales y del techo. Así se comparan mediante el cálculo de la carga máxima a tracción y la tensión crítica de pandeo para determinar el conjunto de secciones a utilizar [6, 7, 8].

Para la verificación de los conjuntos propuestos se procede a realizar un estudio por medio de elementos finitos, ya que la primera estimación no aporta información suficiente sobre su comportamiento en conjunto; teniendo como objetivo comparar y corregir la selección de los elementos componentes hasta alcanzar iguales prestaciones.

Se procede para ello elaborando un modelo 3d para ser utilizado con el software de cálculo mediante elementos finitos [9].

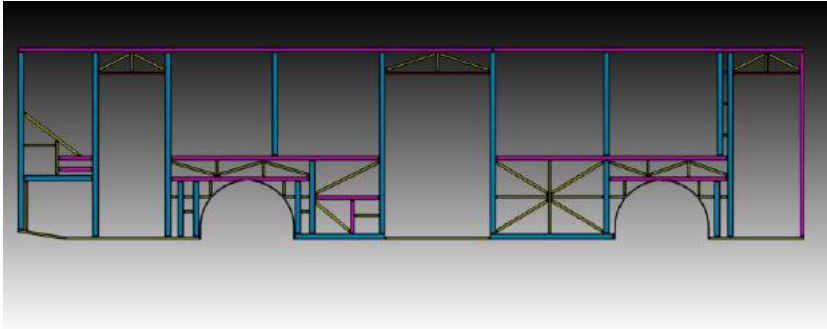


Figura 3. Modelo 3D de estructura de carrocería convencional en acero.

Con la incertidumbre sobre los estados particulares de cargas a las cuales es sometida la carrocería del ómnibus, se decidió tomar a la estructura original en acero, que se ha construido, que funciona, y someterla a esfuerzos definidos por el diseñador para alcanzar las solicitaciones máximas que pueda soportar. Para cada caso se usará como límite máximo la tensión de fluencia. De esta manera se obtendrán los parámetros mínimos que deberá soportar la estructura en aluminio en comparación a la de acero aleado.

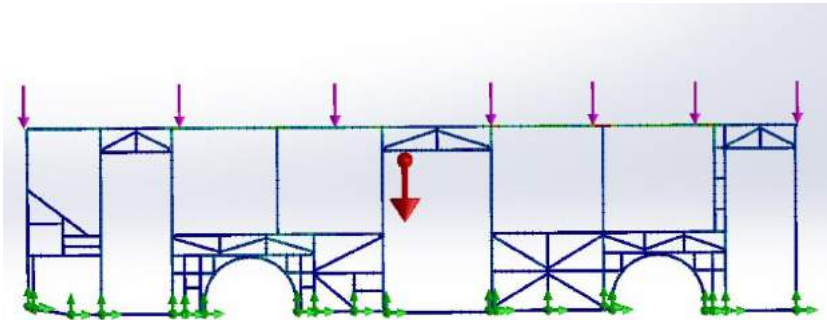


Figura 4. Ejemplo de resultado devuelto por una simulación con un Software de MEF.

Es así como partiendo de los estados de cargas límites definidos por el diseñador para la estructura de la carrocería en acero aleado, se toman de a uno y se le aplican a la estructura hecha en aluminio con iguales características geométricas a la original, se observan los resultados y se procede modificando aquellas zonas que no tiene resistencia estructural para garantizar el funcionamiento. Posteriormente se tomara el segundo estado de carga definido y se repetirá el ensayo, se observan los resultados y se hacen las modificaciones necesarias. Esta metodología adoptada tiene el carácter de iterativa, cada estado de carga nuevo que se plantea llevará a que la estructura en aluminio se modifique para alcanzar el mayor grado de equivalencia con respecto a la de acero.

7. Nueva simulación

Con el nuevo diseño ajustado al Manual de Especificaciones Técnicas de la Comisión nacional de Regulación del Transporte se proyecta una nueva geometría, a complementarse con el estudio de los paneles laterales de vestido pensado para la etapa de detalle de ingeniería, que pasa a simularse computacionalmente respondiendo a los requerimientos de dicho manual[10,11].

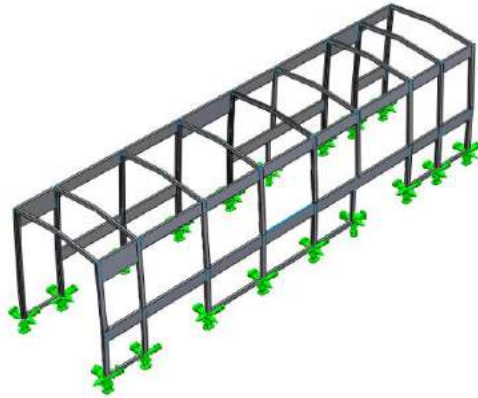


Figura 5. Sujeciones.

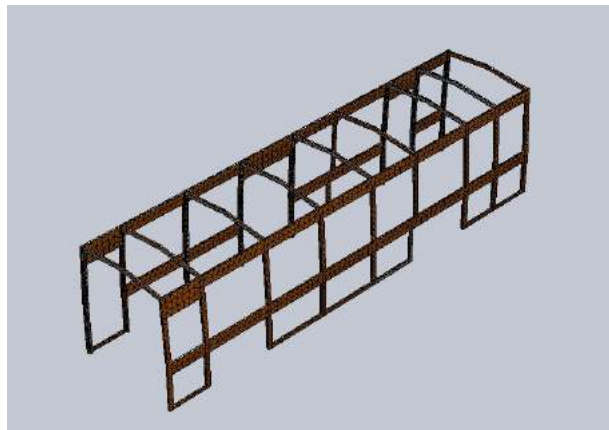


Figura 6. Mallado realizado con elementos cascara.

Los tipos de análisis realizados (Tabla3) corresponden a los requeridos por el MET para omnibuses urbanos de transporte de pasajero.

Tabla 3. Simulaciones realizadas de acuerdo a los ensayos requeridos por la reglamentación.

Tipo de análisis	Estudio	Tipo de carga	Mallado
estático	1	Carga vertical sobre techo - Vuelco	Malla con elementos SHELL de superficies
Pandeo	2	Carga vertical sobre techo - Vuelco	Malla con elementos SHELL de superficies
estático	3	Carga horizontal sobre dinteles de las ventana	Malla con elementos SHELL de superficies
Pandeo	4	Carga horizontal sobre dinteles de las ventanas	Malla con elementos SHELL de superficies

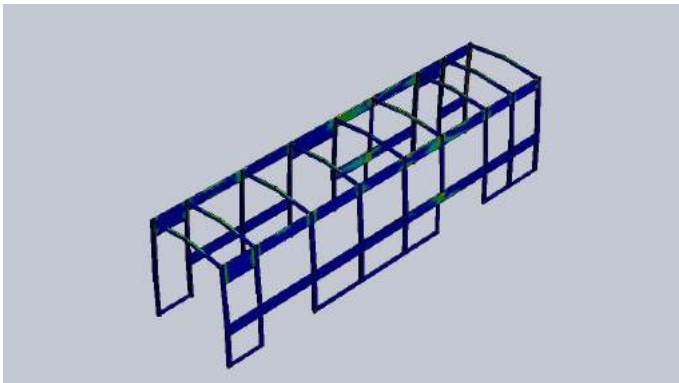


Figura 7.: Factor de seguridad ensayo 1.

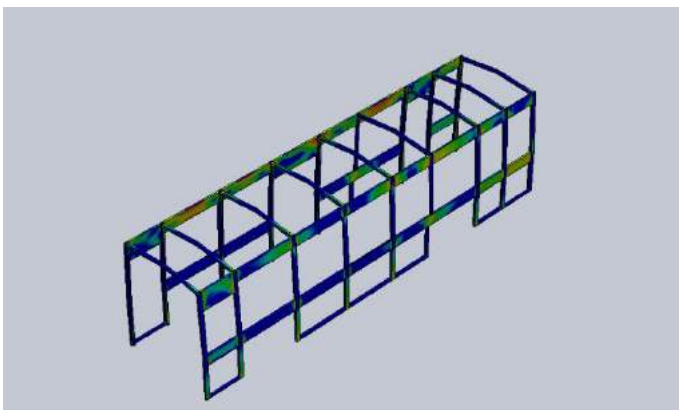


Figura 8. Factor de seguridad ensayo 3.

8. Uniones

El método de unión entre los perfiles de aluminio que dará forma a la estructura de la carrocería será soldadura por arco, donde el proceso GTAW (gas tungsten arc welding) es el recomendado para esta aplicación. Este minimiza el aporte de calor, permite una maniobrabilidad mucho mayor para el soldador y se corre menos riesgos ante defectos que devengan de la parte humana. Requiere de menos equipos a la hora de iniciar la actividad y, además, es versátil.

Para la unión de la cubierta de la carrocería con los perfiles la fijación se hará por medio de una combinación de uniones mecánicas rápidas, tornillos auto-perforantes y un adhesivo.

9. Uniones soldadas

La soldadura de aluminio y sus aleaciones presentan ciertos cuidados que son necesarios contemplar para evitar los errores, así es como se siguen las generalidades del proceso de soldadura y la preparación de juntas se realizan de acuerdo al welding handbook de la American Welding Society (AWS); no dejando así pasar por alto los siguientes factores críticos:

- La porosidad en la soldadura de aluminio, causada por la presencia de hidrogeno resultado de la disociación del agua en la humedad o hidrocarburos en el área por donde pasa el arco.
- El efecto térmico de la soldadura sobre las aleaciones de aluminio, que provoca una disminución de las propiedades mecánicas en la ZAC: disminución de dureza, resistencia, y pérdida de propiedades por recocido debido a un crecimiento de grano excesivo en el límite de la ZAC y la pileta fundida. Esta disminución en las propiedades puede generarse también por pérdida de aleantes, lo que conlleva a un aumento en la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.
- Distorsiones importantes que van a tener que ser corregidas aplicados los tratamientos post-soldadura.
- Corrosión galvánica.
- Dilatación térmica.

10. Selección del metal de aporte

La selección del metal de aporte para la soldadura de aluminio es una decisión crítica a tener en cuenta. Las combinaciones metal base-aporte permiten utilizar varias aleaciones pero sólo una o un grupo muy acotado de estas para cada aplicación específica.

Los factores a tener en cuenta cuando se realiza la selección del metal de aporte son:

- Tendencia a la figuración.
- Resistencia a la tensión a tracción o a corte del metal de soldadura.
- Ductilidad de la soldadura.
- Temperatura de servicio, haciendo referencia en aplicaciones en criogenia. Esto no se tiene en cuenta para la carrocería.

- Resistencia a la corrosión, deberá solo ser considerada para ambientes sumamente corrosivos.

La selección del material de diseño de la estructura se debe hacer en base a sus propiedades soldables previo análisis de su resistencia mecánica. Es un error común caer en aleaciones no soldables o difícilmente soldables o no por métodos convencionales por buscar las mejores propiedades mecánicas ^[12].

Para la selección del metal de aporte se utiliza de guía los Welding Handbook de la American Welding Society (AWS). A continuación una tabla acotada a las aleaciones de interés a soldar, que para nuestro caso, arroja la **aleación 4043**.

Tabla 4. Combinaciones Metal base-Aporte.

Metal base	6061 6063	5086	5083	5052	1100 3003
1100 3003	ER4043 ^a	ER5356 ^c	ER5356 ^c	ER4043 ^{a,c}	ER1100 ^{a,b}
5052	ER5356 ^{b,d}	ER5356 ^c	ER5356 ^c	ER5654 ^{f,d}	
5083	ER5356 ^c	ER5356 ^c	ER5183 ^c		
5086	ER5356 ^c	ER5356 ^c			
6061 6063	ER4043 ^{a,d,e}				

- ER4047 puede ser usada
- ER4043 puede ser usada
- ER5183, ER5356 o ER5556 pueden ser usada
- ER5183, ER5356, ER5554, ER5556 y ER5654 pueden ser usada, dando buenas propiedades de ductilidad y alta resistencia a la soldadura. ER5354 se utiliza para servicio a alta temperatura.
- ER4643 proporciona alta resistencia mecánica en media pulgada en juntas a tope en aleaciones del grupo 6XXX cuando se realiza tratamiento post-soldadura
- A veces se usa el metal de aporte de igual composición al metal base

11. Estudio de constructibilidad

De acuerdo a la información con la que se dispone se hace necesario llegar a analizar varias alternativas de acuerdo a las ventajas y desventajas que presenten, para la realización de la estructura de la carrocería en perfilera de aluminio ^[13].

Se tiene así, para la realización de toda la estructura de la carrocería a partir de perfiles soldados, lo siguiente:

Ventajas

1. Se dispone de perfilera en Al-6063 T6.
2. La aleación de los perfiles es soldable por los métodos convencionales de soldadura de arco.
3. Las propiedades mecánicas son excelentes.
4. El aporte de soldadura admite tratamiento térmico.
5. Una relación resistencia mecánica por densidad alta, que permite controlar los costos.

Desventajas

1. Necesidad del tratamiento térmico post-soldaduras.
2. El tratamiento post-soldadura genera distorsiones sobre la carrocería que serán necesarias corregir.
3. La necesidad de conseguir un horno para el tratamiento térmico de grandes dimensiones.

Primera alternativa

En respuesta a la tercer desventaja se plantea teniendo en cuenta la tercer, cuarta y quinta ventaja de la idea original, una carrocería en perfilera de aluminio 6063-T6 construida en módulos que sean unidos mediante conexiones llevadas a cabo en una aleación de la serie 5XXX, de esta manera estas conexiones se realizarían con chapa conformada o perfiles doblados o cerrados armados buscando solucionar la necesidad de contar con un horno de grandes dimensiones por uno más chico y por lo tanto con más posibilidades de encontrar disponibilidad de uso. Y el uso de la aleación 5XXX en los acoples permite controlar que la zona afectada por el calor de la soldadura no llegue a la aleación 6063 con el temple.

El uso de los acoples hace necesario sobredimensionarlos por el hecho de poseer menor resistencia que los perfiles con el fin de no perder propiedades mecánicas por efecto del aporte de calor de la soldadura.

Segunda alternativa

Esta última es la más radical de las alternativas, la solución se centra en el reemplazo del material base original para pasar a construir una carrocería en aleación de la serie 5XXX, con aporte de igual característica y con perfiles abiertos o cerrados realizados a través del doblado de láminas.

Entonces se verían como puntos a favor:

- Aleaciones soldables.
- Aleaciones endurecibles por trabajo en frío.
- La no necesidad de tratamiento térmico.

- La posibilidad de generar perfiles delgados complejos que ayuden a optimizar la estructura.
- La posibilidad de generar un semi-monocasco.
- La disponibilidad de chapas y/o láminas.

Se generarían como puntos en contra:

- El aumento de propiedades mecánicas por la deformación en frío se pierde en la zona de la soldadura quedando en estado de recocido.
- La necesidad de un nuevo análisis estructural.
- Menor resistencia mecánica por unidad de masa.

Tercer alternativa

Existe la posibilidad de conservar el diseño realizado efectuando un tratamiento térmico localizado. Existen múltiples sistemas de mantas térmicas que logran tener un control de la temperatura en la zona afectada por el cordón, donde se puede practicar el solubilizado, temple y envejecido. Dado a la alta conductividad del aluminio haría necesario verificar con simulaciones, ensayos y mediciones el gradiente de temperatura fuera de la frontera de la manta, para que no afectase de modo indeseado a la aleación sobre-envejeciéndola y haciéndola perder propiedades mecánicas.

12. Uso de adhesivos combinado con unión mecánica

El empleo de esta técnica se usará para el vestido de la carrocería. En principio el uso de adhesivos se combinará con aplicaciones de unión mecánica "rápida". Los tornillos auto-perforantes se combinan con el adhesivo estructural ayudando a que la sujeción de las superficies de las partes en contacto sea mejor. Los tornillos ayudan a resistir a la chapa de vestido ante una fuerza de impacto (Fig.9).

El pegado es la tecnología llave para las juntas entre acero y aluminio en la industria automotriz. Pero como a consecuencia de los diferentes coeficientes de dilatación de cada material, un pegado con un adhesivo "elástico" ayuda a las uniones que requieren de una cierta elasticidad para aquellas caras, sin que falle la adhesión o la cohesión del pegamento.

Las características de los adhesivos elásticos permiten la unión de materiales con coeficientes diferentes de expansión térmica y el mantenimiento de la integridad y resistencia de la unión en servicio.

Diferentes tipos de adhesivos están disponibles para la unión elástica, por ejemplo, poliuretanos y silanos modificados; son formulaciones poliméricas con un historial probado en aplicaciones de camiones y autobuses.

El pegado elimina las distorsiones que generan los procesos de unión por soldadura.

Las aplicaciones de adhesivos pueden solicitar pre-tratamientos superficiales de acuerdo a especificaciones propias de la naturaleza del adhesivo.

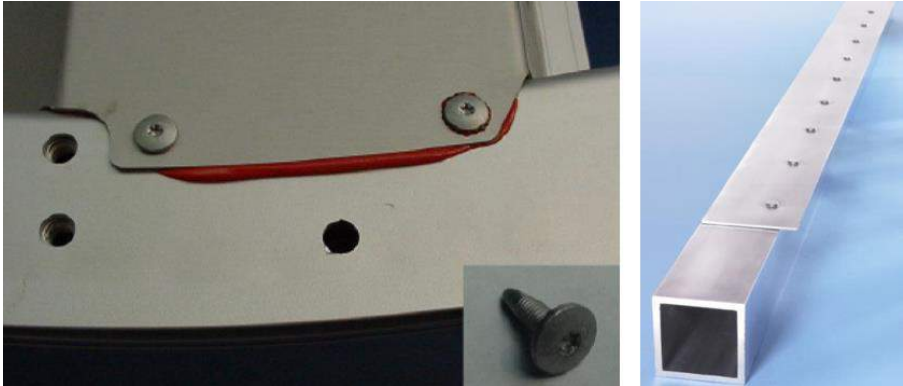


Figura 9. Ejemplos de uso combinado de adhesivos con unión mecánica.

13. Conclusiones

- En forma general, se puede afirmar que 50 kg de sobrepeso en el vehículo pueden suponer una pérdida de potencia de 100 w. La estructura más liviana contribuye a mejorar potencia útil.
- Reducción del consumo de combustible del 6% con motorización convencional
- Cero emisiones para las motorizaciones eléctricas.
- Más silencioso que uno convencional con motor de combustión interna.
- Reducción de mantenimiento.
- Rendimiento global a plena carga, aproximado 80%.
- Uso eficiente de la energía eléctrica consumida, que puede ser generada a partir de recursos renovables.
- La importancia de la recuperación de la energía cinética de frenado es muy grande en un ciclo urbano donde aproximadamente un 60% de la energía total se invierte en superar los efectos de inercia de la masa total del vehículo (peso del vehículo en orden de marcha más los pasajeros) y teóricamente durante la desaceleración se puede recuperar un porcentaje del orden del 94%.
- 73 % menos de costos en insumos energéticos que el ómnibus diesel convencional.

14. Referencias

- [1] J. Sacco, A. R. Blanco, D. A. Vucetich, A. Pierre Castell, R. Matera, Proyecto de un Autobús Urbano Híbrido para el Transporte de Pasajeros, 2011
- [2] Europe Aluminum Association, Aluminium in Cars-Unlocking the Light Weighting Potential, 2013
- [3] Todd Summe, The Aluminum Advantage For Sustainable Transportation-Green Truck Summit-, Division Manager, Product Design & Development –Alcoa-2010
- [4] European Aluminium Association, The Aluminium Automotive Manual-2015

- [5] American Society for Metals, ASM Handbook Vol.2 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Material .1990
- [6] Ing. A. Patanella, Ing. M. Actis, Apunte De Inestabilidad De Placas, Cátedra De Estructuras IV, Facultad De Ingeniería UNLP, 2004
- [7] Ing. A. Patanella, Ing. M. Actis, J Rimoli, Apunte De Pandeo Local En Secciones De Paredes Delgadas, Cátedra De Estructuras IV, Facultad De Ingeniería, UNLP, 2007
- [8] Sechler-Dunn, Airplane Structural Analysis and Desing, 1942
- [9] Sergio Gómez González, Solidworks Simulation, Alfaomega, 2010
- [10] Ministerio De Infraestructura Y Vivienda, Manual De Especificaciones Técnicas Para Vehiculos De Transporte Por Automotor De Pasajeros (MET), 2011
- [11] John Fenton, Handbook of Vehicle Desing Analysis, Society of Automotive Engineers Inc., 1996
- [12] American Welding Society, Welding Handbook: Welding Processes, Vol. 2, 1991
- [13] Kissell, Ferry, Aluminum Structures-A Guide to Their Specifications and Design, John Wiley & Sons, Inc.2002