

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE ACEROS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA BUSES

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

ARANDA PAZMIÑO DIEGO OSWALDO
jcdiego12@hotmail.com

DUTÁN AMAY VERÓNICA PATRICIA
vpda85@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MSC. PATRICIO ESTUPIÑÁN
patricio.estupinan@epn.edu.ec

QUITO, JULIO 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Verónica Patricia Dután Amay y Diego Oswaldo Aranda Pazmiño, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Oswaldo Aranda Pazmiño

Verónica Patricia Dután Amay

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Oswaldo Aranda Pazmiño y Verónica Patricia Dután Amay, bajo mi supervisión.

Ingeniero Msc. Patricio Estupiñán
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por demostrarme tantas veces su existencia y con ello darme fuerzas para superarme cada día. A mis padres Luis y Rosa, por todo su sacrificio, sus consejos, su apoyo, por confiar en mí. Este logro también es suyo. A mi abuelita, por tenerme siempre presente en sus oraciones, en su mente y en su corazón. A mis hermanos Luis, Walter, Hugo, Paúl y Santiago, porque con su cariño, su apoyo, su motivación, su paciencia y constancia me han impulsado a salir adelante. Al Ing. Patricio Estupiñán por su acertada dirección y su apoyo total. A la Escuela Politécnica Nacional y a mis maestros de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Finalmente, a mi compañero de tesis, mi más dilecto y preciado amigo y mi gran amor, Diego, por ser mi luz cuando no puedo ver, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe. De todo corazón y por todo lo que haces por mi *GRACIAS*.

Verónica

Primeramente agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones, a mis padres Juan Oswaldo y Janis Amada (†) por todo el esfuerzo y sacrificio que realizaron para darme la dicha de estudiar, a mis hermanos Sandra Paulina, Juan Carlos y Jonathan Paúl ya que me apoyaron e inspiraron en la culminación de mi carrera universitaria, a mis amigos y compañeros por su confianza y lealtad, a mis maestros y especialmente al Ing. Patricio Estupiñán quien con su valiosa y generosa ayuda ha dirigido este estudio durante su desarrollo, a la Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas del conocimiento y especialmente a la gloriosa Facultad de Ingeniería Mecánica por haber encontrado ahí el amor de mi vida y poder compartir mi existencia con ella, para quien realizo una mención especial de agradecimiento por ser mi querida compañera de tesis, Verónica, por su paciencia, cariño y apoyo en el desarrollo de este estudio.

Diego Oswaldo

DEDICATORIA

*Con mucho cariño y gratitud dedico
este trabajo a mis padres por su sacrificio
y a Diego por su apoyo total.*

Verónica

*A mi padre Juan, a la memoria de mi añorada madre Janis (†)
y de manera muy especial dedico este esfuerzo a la persona
que más adoro, respeto y admiro en este mundo a quien
logró cambiar mi forma de ser, a mi futura esposa,
Verónica, “sabes que estaría perdido sin ti”.*

Diego Oswaldo

CONTENIDO

RESUMEN	xvi
PRESENTACIÓN.....	xvii
1. CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 EL TRANSPORTE.....	1
1.1.1 Transporte de mercancías.....	1
1.1.2 Transporte de pasajeros.....	2
1.1.3 MEDIOS DE TRANSPORTE.....	2
1.1.3.1 Transporte por ferrocarril.....	2
1.1.3.2 Transporte terrestre.....	3
1.1.3.3 Transporte marítimo.....	3
1.1.3.4 Transporte fluvial.....	4
1.1.3.5 Transporte aéreo.....	4
1.1.4 TRANSPORTE EN EL ECUADOR.....	5
1.1.4.1 Buses Urbanos.....	7
1.1.4.2 Trolebús.....	7
1.1.4.3 Taxis.....	7
1.1.4.4 Buses Interprovinciales.....	7
1.1.4.5 Avión.....	8
1.1.4.6 Ferrocarril.....	8
1.1.4.7 Botes, lanchas y canoas.....	8
1.2 INSEGURIDAD EN EL TRANSPORTE TERRESTRE.....	9
1.2.1 ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN EL ECUADOR.....	10
1.3 CARROCERÍAS PARA BUSES.....	12
1.3.1 SISTEMAS DE CARROCERÍAS.....	12

1.3.1.1	Carrocería con chasis independiente.....	12
1.3.1.2	Carrocería con chasis plataforma.....	13
1.3.1.3	Carrocería autoportante o compacta.....	14
1.3.2	SEGURIDAD EN LAS CARROCERÍAS PARA BUSES. ⁷	15
1.3.2.1	Zonas de disipación de desaceleraciones. ^{5,7}	15
1.3.3	INCUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD EN LAS CARROCERÍAS.....	17
1.3.3.1	Fabricación informal de carrocerías.....	20
1.3.3.2	Vida útil de las unidades.....	20
1.4	DIAGNÓSTICO DE LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL DE LAS CARROCERÍAS ECUTORIANAS.....	21
1.4.1	ENCUESTA REALIZADA.....	22
1.4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS... ..	22
1.4.3	SITUACIÓN ACTUAL.....	26
2.	CAPÍTULO 2.....	27
	MATERIALES ESTRUCTURALES.....	27
2.1	EL ACERO.....	27
2.2	ELEMENTOS ALEANTES EN EL ACERO. ¹¹	28
2.3	APLICACIONES DEL ACERO.....	32
2.4	CLASIFICACIÓN DEL ACERO. ¹¹	34
2.4.1	ACEROS DE BAJO CARBONO.....	35
2.4.2	ACEROS ALEADOS.....	35
2.4.2.1	Estructurales.....	36
2.4.2.2	Para Herramientas.....	36
2.4.2.3	Especiales.....	37
2.4.3	ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN (HSLA).....	37
2.4.4	ACEROS DE MEDIO CARBONO.....	37
2.4.5	ACEROS DE ALTO CARBONO.....	38

2.4.5.1	Nomenclatura ASTM-AISI de los aceros al carbono.	38
2.4.6	ACEROS INOXIDABLES.	40
2.4.6.1	Nomenclatura AISI-SAE de aceros inoxidables. ¹⁴	40
2.5	EL ALUMINIO.	42
2.5.1	ALEACIONES DE ALUMINIO.	43
2.5.2	Nomenclatura AAI del Aluminio.	44
2.5.2.1	Características de las aleaciones (series).	44
2.5.3	APLICACIONES DEL ALUMINIO ALEADO.	46
2.6	MATERIALES ESTRUCTURALES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.	46
2.6.1	ACERO ASTM A36.	47
2.6.1.1	Ventajas y desventajas del acero ASTM A36 como material estructural.	48
2.6.1.1.1	Ventajas.	48
2.6.1.1.2	Desventajas.	49
2.6.2	ACEROS HSLA.	49
2.6.2.1	Ventajas y desventajas de los aceros HSLA como material estructural.	55
2.6.2.1.1	Ventajas.	55
2.6.2.1.2	Desventajas.	56
2.6.3	ACERO INOXIDABLE.	57
2.6.3.1	Ventajas y desventajas de los aceros inoxidables como material estructural.	58
2.6.3.1.1	Ventajas.	58
2.6.3.1.2	Desventajas.	59
2.6.4	ALUMINIO. ¹⁷	60
2.6.4.1	Ventajas y desventajas del Aluminio como material estructural.	64
2.6.4.1.1	Ventajas.	64
2.6.4.1.2	Desventajas.	65

3. CAPÍTULO 3.....	66
PRESELECCIÓN DE MATERIALES.....	66
3.1 CARGAS APLICADAS A LA CARROCERÍA DE UN BUS.....	66
3.2 CARGAS ESTÁTICAS.....	67
3.2.1 CARGA MUERTA (M).....	67
3.2.2 CARGA VIVA (V).....	68
3.3 CARGAS DINÁMICAS.....	68
3.3.1 CARGA DE GIRO (G).....	69
3.3.2 CARGA DE FRENADO (F).....	69
3.3.3 CARGA DE ACELERACIÓN BRUSCA (A_b).....	70
3.3.4 CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL (R_{af}).....	71
3.4 PRESELECCIÓN.....	72
3.4.1 CRITERIOS DE PRESELECCIÓN.....	72
3.4.1.1 Esfuerzo a la Fluencia.....	73
3.4.1.2 Resistencia a la Tracción.....	73
3.4.1.3 Elongación.....	74
3.4.1.4 Energía relativa.....	75
3.4.2 METODO DE PRESELECCIÓN.....	76
3.4.3 PRESELECCIÓN DEL ACERO AL CARBONO.....	77
3.4.4 PRESELECCIÓN DEL ACERO HSLA.....	77
3.4.4.1 Ejemplo de aplicación del método de matriz de priorización para la preselección del acero HSLA.....	77
3.4.5 PRESELECCIÓN DEL ALUMINIO.....	82
3.4.6 PRESELECCIÓN DEL ACERO INOXIDABLE.....	84
4. CAPÍTULO 4.....	86
SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	86

4.1.1	ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN FINAL.....	86
4.1.1.1	Acero ASTM A-36	86
4.1.1.1.1	Propiedades mecánicas.....	86
4.1.1.1.2	Composición química.....	86
4.1.1.1.3	Aplicaciones.....	87
4.1.1.2	Acero ASTM A-514 Gr.B	87
4.1.1.2.1	Propiedades mecánicas.....	87
4.1.1.2.2	Composición química.....	87
4.1.1.2.3	Aplicaciones.....	88
4.1.1.3	Nitronic 30	88
4.1.1.3.1	Propiedades mecánicas.....	88
4.1.1.3.2	Composición química.....	88
4.1.1.3.3	Aplicaciones.....	89
4.1.1.4	Aluminio 6061-T6.	89
4.1.1.4.1	Propiedades mecánicas.....	89
4.1.1.4.2	Composición química.....	90
4.1.1.4.3	Aplicaciones.....	90
4.1.2	MÉTODO DE SELECCIÓN.....	90
4.1.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	91
4.1.3.1	Energía relativa	91
4.1.3.2	Densidad	92
4.1.3.3	Soldadura	92
4.1.3.3.1	Costo de la máquina para el proceso a utilizar	93
4.1.3.3.2	Costo del electrodo	93
4.1.3.3.3	Mano de obra requerida.....	93
4.1.3.3.4	Soldabilidad del material.....	93
4.1.3.3.5	Priorización del criterio de soldadura	94
4.1.3.4	Esfuerzo de fluencia.....	97
4.1.4	SELECCIÓN FINAL.....	98

4.2	SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN DEL ACERO ASTM A514 CON EL ACERO ASTM A36.....	100
4.2.1	VALORES DE CARGAS.....	101
4.2.1.1	Valor de carga viva (V).....	101
4.2.1.2	Valor de la carga de giro (G).....	102
4.2.1.3	Valor de carga de frenado (F).....	104
4.2.1.4	Valor de carga de aceleración brusca (A_b).....	104
4.2.1.5	Valor de carga por resistencia del aire (R_{af}).....	104
4.2.1.6	Combinaciones básicas de cargas.....	105
4.2.1.6.1	Método ASD (Allowable Strength Desing).....	106
4.2.1.6.2	Método LRFD (Load Resistance Factor Desing).....	106
4.2.2	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN.....	108
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113
5.	CAPÍTULO 5.....	120
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1	CONCLUSIONES.....	120
5.2	RECOMENDACIONES.....	122
	BIBLIOGRAFÍA.....	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
	ANEXOS.....	128

CONTENIDO DE FIGURAS.

Figura 1-1. Población y parque vehicular del Ecuador 1964-2005. ²	6
Figura 1-2. Carrocería para bus.	12
Figura 1-3. Carrocería monocasco, unida por soldadura.	13
Figura 1-4. Carrocería autoportante. ⁸	14
Figura 1-5. Vidrios crudos luego de un accidente, usados en carrocerías de buses. 19	
Figura 2-1. Aplicaciones del acero. ¹²	34
Figura 2-2. Carrocería con partes en rojo de acero HSLA. Renault Laguna 2.....	51
Figura 2-3. Carrocería con partes en amarillo de acero HSLA. Volkswagen Beetle. 51	
Figura 2-4. Prueba de choque. Audi A4. ¹⁶	52
Figura 2-5. Refuerzos de Acero HSLA (partes de color amarillo). ¹⁶	53
Figura 2-6. Acero HSLA en zona de deformación. ¹⁶	54
Figura 2-7. Comparación de cabinas luego de un impacto. ¹⁶	54
Figura 2-8. Refuerzo de acero microaleado en tablero y puertas (color amarillo). ¹⁶ .	55
Figura 2-9. Refuerzo de acero microaleado en poste A del Volkswagen Beetle. ¹⁶	55
Figura 2-10. Bus Volvo con carrocería de acero inoxidable. ²¹	58
Figura 2-11. Carrocería de aluminio. Audi A8.	61
Figura 2-12. Carrocería de aluminio. Audi Q5. ²²	62
Figura 2-13. Bus con carrocería de aluminio fabricado por Zhengzhou Yutong Bus Company ²⁴	64

Figura 3-1. Ilustración de carrocería terminada.....	67
Figura 3-2. Carrocería soportando exceso de carga viva. ²⁵	68
Figura 3-3. Efectos de la fuerza centrífuga. ²⁶	69
Figura 3-4. La fuerza de inercia aplicada en el centro de gravedad en el instante del frenado. ²⁶	70
Figura 3-5. Vehículo sometido a un frenado brusco. ²⁶	70
Figura 3-6. Ilustración de vehículos sometidos a cargas de viento. ²⁰	71
Figura 3-7. Proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal. ²⁷	72
Figura 3-8. Curva esfuerzo-deformación. Ilustración del ensayo de tracción.....	74
Figura 3-9. Comparación entre curvas esfuerzo-deformación de ingeniería y esfuerzo-deformación real.....	76
Figura 4-1. Curvas esfuerzo-deformación de los diferentes tipos de aceros.....	97
Figura 4-2. Estructura de la carrocería de un bus tipo (a) estructura sin chasis (b) vista lateral de estructura y chasis.	109
Figura 4-3. Carrocería con acero ASTM A-36 sometida a combinación de cargas según método ASD.	110
Figura 4-4. Carrocería con acero ASTM A-36 sometida a combinación de cargas según método LRFD.	110
Figura 4-5. Comportamiento del acero ASTM A-36 en condiciones de un choque frontal.	112
Figura 4-6. Comportamiento del acero ASTM A-514 Gr.B en condiciones de un choque frontal.....	113

Figura 4-7. Accidente de bus en Papallacta, Ecuador..... 116

Figura 4-8. Accidente de tránsito..... 117

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1-1. Tipo de acero utilizado.	22
Tabla 1-2. Criterios para la selección. ¹⁰	22
Tabla 1-3. Perfiles usados. ¹⁰	23
Tabla 1-4. Perfiles que construyen las empresas. ¹⁰	23
Tabla 1-5. Conocimiento de la composición química. ¹⁰	23
Tabla 1-6. Tipo de acero usado. ¹⁰	23
Tabla 1-7. Criterios para la selección del perfil. ¹⁰	24
Tabla 1-8. Normas de los ensayos. ¹⁰	24
Tabla 1-9. Proveedores. ¹⁰	24
Tabla 1-10. Especificaciones técnicas. ¹⁰	24
Tabla 1-11. Tratamiento que se realiza al material. ¹⁰	25
Tabla 1-12. Realización de ensayo de tracción. ¹⁰	25
Tabla 1-13. Proceso de soldadura utilizado. ¹⁰	25
Tabla 1-14. Conocimiento del electrodo utilizado. ¹⁰	25
Tabla 2-1. Nomenclatura de los aceros al carbono. ¹⁴	39
Tabla 2-2. Nomenclatura de aceros inoxidables. ¹⁴	41
Tabla 2-3. Uso del aluminio en partes de vehículos.....	62
Tabla 3-1. Propiedades mecánicas de las alternativas de los aceros HSLA.....	78
Tabla 3-2. Criterios para la preselección del acero HSLA.....	80

Tabla 3-3. Normalización de la tabla para la preselección del acero HSLA.	81
Tabla 3-4. Resultados de la preselección del acero HSLA.	82
Tabla 3-5. Propiedades mecánicas de las alternativas del aluminio.	83
Tabla 3-6. Criterios para la preselección del aluminio.	83
Tabla 3-7. Normalización de la tabla para la preselección del acero HSLA.	84
Tabla 3-8. Resultados de la preselección del aluminio.	84
Tabla 3-9. Propiedades del acero inoxidable NITRONIC 30 (ASTM A-240)	85
Tabla 4-1. Composición química del acero ASTM A36. ³²	86
Tabla 4-2. Composición química del acero ASTM A514 Gr.B. ³²	87
Tabla 4-3. Composición química del Nitronic 30. ³²	88
Tabla 4-4. Composición química del Aluminio 6061–T6. ³²	90
Tabla 4-5. Características de soldadura de cada material.	94
Tabla 4-6. Criterios de soldadura de cada material.	95
Tabla 4-7. Normalización de la tabla para el criterio de soldadura.	96
Tabla 4-8. Resultados del criterio de soldadura.	96
Tabla 4-9. Propiedades de los criterios para la selección final. ³²	98
Tabla 4-10. Criterios para la selección final de la alternativa.	99
Tabla 4-11. Normalización de la tabla para la selección final de la alternativa.	99
Tabla 4-12. Resultados de la selección final.	100
Tabla 4-13. Cargas vivas de diseño.	102
Tabla 4-14. Velocidades y radios mínimos en carretera. ³⁷	103

RESUMEN

El desarrollo del parque automotor ecuatoriano, la creciente demanda de medios de transporte público y la imperiosa necesidad de vehículos seguros, solidarios y amigables con el ambiente, han obligado a mejorar los procesos productivos automotrices en el país.

Una de las formas de aportar a esta mejora es a través de la construcción de buses en cuya estructura se emplee un material con mejores características que las del usado comúnmente para la fabricación de carrocerías en el país. El proyecto recomienda un material que aligera el peso de la estructura de la carrocería de un bus y, que a la vez, posee propiedades mecánicas acorde a las exigencias que el vehículo requiere en el desarrollo del servicio para el cual fue diseñado.

A través de encuestas desarrolladas en las principales empresas carroceras del país y luego de investigaciones realizadas sobre el material que utilizan para las carrocerías en países desarrollados, se procede a realizar un proceso de selección comparando las propiedades de los materiales y calificándolas cuantitativamente.

Una vez seleccionada la alternativa que mejores características presente, se realiza una simulación en la que se somete a la estructura de una carrocería a cargas sugeridas en la Normativa Ecuatoriana y, se compara el comportamiento del material escogido con el del material que se emplea comúnmente en la construcción de la estructura.

Se presenta también la documentación empleada para obtener información, así como los gráficos ilustrativos que permiten explicar de manera más sencilla los conceptos e ideas desarrollados en el presente proyecto.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto mantiene como fin estudiar diferentes tipos de materiales estructurales para seleccionar uno de ellos y recomendarlo de tal forma que permita a la industria carrocería ecuatoriana fabricar estructuras de buses más ligeras, resistentes y acorde a las exigencias actuales para el transporte público. Conjuntamente se realiza un análisis comparativo de diferentes propiedades y características que dichos materiales presentan.

El aporte del programa computacional SAP 2000 V11, complementa el estudio facilitando, a través de simulación, la comparación entre materiales y su comportamiento al formar parte de la estructura de la carrocería de un bus.

La metodología para la selección de las alternativas y para la selección final se basa en aquella empleada en la evaluación de proyectos, que permite dar una ponderación a los criterios de evaluación para cada una de las opciones.

Las conclusiones y recomendaciones sugieren la utilización del material escogido o uno de características y propiedades similares debido a que incrementa la calidad el producto en lo que a resistencia, peso y seguridad se refiere, lo cual implica también un paso más en el proceso de implantación de materiales nuevos y mejores en los procesos productivos que se desarrollan en el país.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 EL TRANSPORTE.¹

El transporte es el medio de traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro. El transporte comercial moderno está al servicio del interés público e incluye todos los medios e infraestructuras implicadas en el movimiento de las personas o bienes, así como los servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes.

El transporte comercial de personas se clasifica como servicio de pasajeros y el de bienes como servicio de mercancías. Como en todo el mundo, el transporte es y ha sido en Latinoamérica un elemento central para el progreso o el atraso de las distintas civilizaciones y culturas.

1.1.1 TRANSPORTE DE MERCANCÍAS.

El transporte de mercancías puede considerarse como un nexo de relación entre la producción y distribución de bienes. Los problemas que ocasionaba el transporte de mercancías se derivaba de la distancia a recorrer y de la adaptabilidad entre las características de las mercancías y el medio de transporte. Estos problemas han sido superados por el avance tecnológico.

Actualmente, el planteamiento del transporte de mercancías es muy distinto al del pasado debido al progresivo incremento del volumen transportado y a la diversificación en la demanda de mercancías.

¹ http://www.wikilearning.com/curso_gratis/los_transportes-el_transporte_en_la_configuracion_de_territorio/1915-5.

1.1.2 TRANSPORTE DE PASAJEROS.

El transporte de pasajeros implica consideraciones diferentes al de mercancías, puesto que no supone un incremento final de un producto, sino que es considerado como un servicio o como un elemento de consumo final. El estudio del transporte de viajeros puede considerarse desde distintos ámbitos o motivos, bien teniéndose en cuenta los aspectos de accesibilidad intraurbana e interurbana, bien desde la consideración del motivo del desplazamiento laboral o de ocio.

Desde el punto de vista laboral, el transporte de pasajeros resulta de gran importancia por la incidencia del factor humano dentro de la actividad económica. Desde la perspectiva del ocio, el transporte de viajeros ha experimentado una creciente demanda en las últimas décadas en los países desarrollados, sobre todo en el transporte por carretera, por ferrocarril y por vía aérea.

1.1.3 MEDIOS DE TRANSPORTE.

La transformación económica y social experimentada por la sociedad tras la Revolución Industrial ha llevado no sólo a la diversificación de los transportes, sino también a un incremento progresivo de la movilidad, tanto de mercancías como de personas, al tiempo que se ha producido un constante perfeccionamiento de los medios de transporte. Entre los tipos de medio de transporte más destacados se encuentran los siguientes:

1.1.3.1 Transporte por ferrocarril.

El ferrocarril, tras la Revolución Industrial, se convirtió en el principal medio de transporte en los países más industrializados, por eso la mayor concentración de kilómetros por ferrocarril se encuentra en los países más desarrollados. El transporte de mercancías por ferrocarril, por medio de contenedores, se ve favorecido por la

distancia de las relaciones comerciales continentales, al tiempo que sigue siendo el principal medio empleado en transportes pesados.

1.1.3.2 Transporte terrestre.

Durante siglos los medios tradicionales de transporte, restringidos a montar sobre animales, carros y trineos tirados por animales, raramente excedían de un promedio de 16 km/h.

Ha sido en el siglo XX, cuando más se ha desarrollado la red vial, donde los gobiernos han realizado grandes inversiones hasta conseguir vías de gran capacidad (autopistas y autovías) que permiten el desplazamiento de gran número de personas y mercancías con niveles de motorización próximos a los grandes países industrializados.

El transporte por carretera ha experimentado un notable desarrollo, y ha sido favorecido tanto por determinadas ventajas que tiene sobre otros transportes como por su potenciación por parte del estado.

1.1.3.3 Transporte marítimo.

Las condiciones del transporte marítimo también se han visto modificadas notablemente debido al desarrollo de otros medios de transporte. Entre las transformaciones más importantes que ha sufrido este medio de transporte debe citarse el aumento del comercio, lo que ha llevado a la necesidad de reestructurar los puertos a las nuevas condiciones y de medios técnicos que permitan realizar las tareas de carga y descarga tales como los contenedores.

El contenedor es un recipiente de carga para el transporte marítimo. La idea vino de parte de un camionero, que decidió que más rápido y barato que retirar la carga de un camión sería descargar toda la caja del mismo en el barco. Los costos principales

son aproximadamente la vigésima parte de los de un barco convencional de tamaño similar. Un barco de contenedores puede descargar y cargar la mercancía en aproximadamente 13 horas, comparadas con las 84 horas para un barco convencional; de esta manera permite un tiempo de regreso más rápido. Por lo general, se pueden manipular 500 toneladas métricas por equipo-hora con la mercancía introducida en contenedores, mientras que una buena media con los métodos de descarga de graneles convencionales son 25 toneladas métricas por equipo-hora.

1.1.3.4 Transporte fluvial.

Este transporte fue muy importante dentro del transporte continental en siglos pasados, puesto que permitía utilizar caminos naturales y resultaba muy barato para el transporte de mercancías pesadas y voluminosas en grandes recorridos. Este sistema es muy variado en relación con el tamaño del curso del agua, que puede ser a su vez natural o artificial. Este medio ha quedado decisivamente condicionado por los factores físicos, de forma que mientras otros medios de transporte mantienen mayor conexión con los niveles de desarrollo económico éste es totalmente independiente.

1.1.3.5 Transporte aéreo.

Este tipo de transporte no comenzó a generalizarse a nivel comercial hasta después de la segunda guerra mundial. Las posibilidades que ofrece el transporte aéreo han determinado que, pese a su costo, se haya impuesto en poco tiempo, sobre todo como medio de transporte internacional, siendo uno de los más utilizados en los países desarrollados. Destaca por su rapidez, la indiferencia al medio físico, facilitar un espacio de comunicación casi ilimitado con un gran radio de acción y la posibilidad de transportar casi todo tipo de cargas, aunque priman los criterios de rentabilidad: productos de rápida caducidad, objetos valiosos, envíos muy urgentes y personas.

1.1.4 TRANSPORTE EN EL ECUADOR.²

Desde 1964 hasta el 2005, la población del Ecuador creció desde 5'008 614 hasta 13'215 089 habitantes para el mismo período, el parque automotor creció desde un poco menos de 40000 hasta 1'042321 vehículos (Figura 1-1). Esto es, mientras la población se multiplicó por 2.64, el parque vehicular lo hizo por 26.4. Si el parque vehicular del Ecuador continúa creciendo al ritmo en que creció los últimos 5 años (8.1%), el número de unidades se duplicará en 9 años. Esto quiere decir que la tasa media de motorización en el Ecuador (número de vehículos por cada mil habitantes) varió de 8 a 79. Pero esta tasa es variable, dependiendo de la provincia, siendo las más altas Pichincha con 138, Azuay con 114, Tungurahua con 97 y Guayas con 79; y, las más bajas Bolívar, Los Ríos, Esmeraldas y las 5 provincias del Oriente existentes hasta el año 2005, con tasas que fluctúan entre 20 y 50 (similares a las de Pichincha en la década del 70).

Dentro de la provincia de Pichincha, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) tiene la mayor tasa de motorización, 165 vehículos por mil habitantes, con los consiguientes problemas de crecimiento urbano, contaminación, aparcamiento, uso del espacio público y congestionamiento en las horas pico, por citar los más evidentes.

Por otra parte, la antigüedad media del parque vehicular del Ecuador es de 12,3 años y de los buses 11,9 años, realidad que contrasta con lo que ocurre en el DMQ con el parque vehicular en general, 6,9 años, y el de buses en particular, 5,4 años. En Quito circula el mayor número de automotores y la mayor proporción de vehículos nuevos del Ecuador.

Vale señalar que este crecimiento, tanto en número como en proporción, ocurre fundamentalmente en las categorías de vehículos para uso particular liviano. Por su

² http://www.quitoparatodos.org/index.php?option=com_content&view=article&id=33:lo-que-sobran-son-autosno-buses&catid=14:documentos&Itemid=24

parte, el número de unidades de transporte masivo creció a una tasa similar a la de crecimiento poblacional, así: en 1969 los 5.109 buses y colectivos representaban el 9.1% del parque vehicular del Ecuador; y, en 2004, 10488 unidades representaron apenas el 1.4%. Por consiguiente, pese a que aún en las ciudades con mayores tasas de motorización el transporte masivo continúa siendo el principal modo de transporte, el espacio público destinado a la movilidad, es utilizado de manera creciente por los particulares livianos.

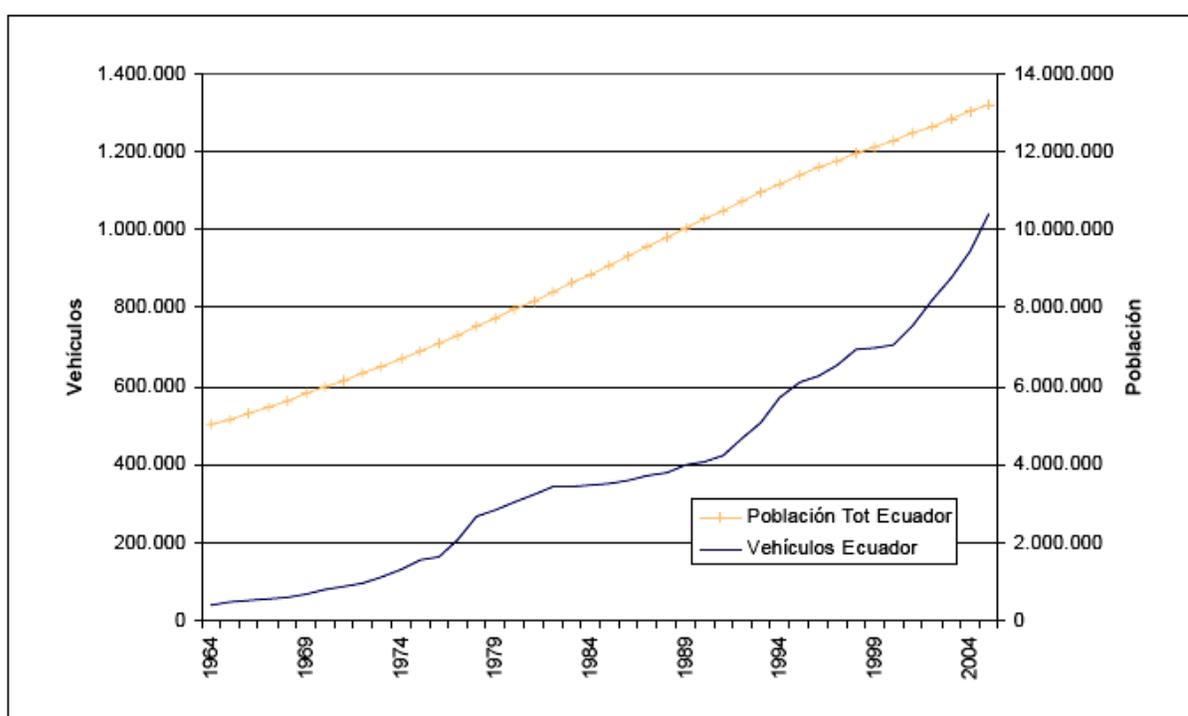


Figura 1-1. Población y parque vehicular del Ecuador 1964-2005.²

Movilizarse dentro del Ecuador y sus ciudades es sencillo, debido a la gran cantidad existente de medios prestos a brindar este servicio. Los medios más usados para el transporte de mercancías y personas en el Ecuador son:³

³ <http://www.welcomeecuador.com/ecuadortransporte.php>

1.1.4.1 Buses Urbanos.

En las grandes ciudades se puede llegar prácticamente a cualquier lugar por medio de un bus. El servicio es barato (USD 0.25) y hay una gran cantidad de unidades que sólo llevan pasajeros sentados. Los buses empiezan a circular desde muy temprano (05:30) pero es común que en la noche no trabajen hasta muy tarde (19:00).

1.1.4.2 Trolebús.

Es el sistema de transporte urbano más moderno y eficiente del país. Grandes buses articulados circulan por vías exclusivas y con paradas fijas. El servicio es barato (USD 0.25) y junto al servicio de buses integrados (unidades que trabajan de manera integrada al trolebús y ecovía), atraviesan de un extremo a otro de la ciudad. Puede resultar un poco apretado en los horarios de entrada y salida de oficinas. El servicio sólo funciona en Quito, desde las 06h00 hasta las 24h00.

1.1.4.3 Taxis.

El servicio de taxis es otra forma de trasladarse de un lugar a otro. En general el servicio es bueno, las unidades son nuevas y los taxistas están dispuestos a ayudar a los turistas. El costo depende de lo que marque un taxímetro, un viaje promedio puede costar entre USD 1.50 a USD. 2,00. Las tarifas nocturnas normalmente están entre los USD. 2,00 a USD. 3,00.

1.1.4.4 Buses Interprovinciales.

El bus es el medio de transporte más utilizado para los desplazamientos dentro del Ecuador. Prácticamente se puede llegar a cualquier punto del país con tan sólo tomar uno o dos buses. Los precios varían de acuerdo a la distancia y al servicio. El servicio expreso viaja hacia su destino sin realizar paradas intermedias. Muchas

compañías de transporte ofrecen unidades nuevas, con baño, televisor y asientos reclinables. Algunas incluso sirven algún refrigerio para el camino. Las frecuencias de los viajes son variadas y los servicios funcionan las 24 horas del día.

1.1.4.5 Avión.

Ecuador es uno de los países que cuenta con uno de los mejores transportes aéreos internos en la región. Más de 12 ciudades cuentan con aeropuertos domésticos y con vuelos de varias compañías nacionales. Los precios varían de acuerdo a la distancia y al servicio. El vuelo más largo dentro de nuestro país dura alrededor de 45 min, exceptuando las Islas Galápagos, a las cuales se llega en una hora y media, desde Quito o Guayaquil.

1.1.4.6 Ferrocarril.

Existe servicio de ferrocarril en el país pero no es muy utilizado como medio de transporte sino como una gran atracción turística. Era conocido como el tren más difícil del mundo por cruzar los Andes entre quebradas y prados, esquivando encañonados y ríos caudalosos. Este medio no sirve en caso de apuro, por su antigüedad y lentitud; sin embargo, es una de las maneras más entretenidas de conocer el Ecuador.

1.1.4.7 Botes, lanchas y canoas.

En el Ecuador hay muchos lugares especialmente en la Amazonía, a los cuales sólo se puede acceder por vía marítima o fluvial. En todos aquellos pueblos o destinos siempre existen pequeñas canoas motorizadas o botes que ofrecen servicio de transporte. El precio varía de acuerdo a la distancia y al destino.

1.2 INSEGURIDAD EN EL TRANSPORTE TERRESTRE.⁴

Los accidentes de tráfico mortales han sido considerados hasta hace muy poco tiempo como una consecuencia inevitable de la existencia de los automóviles, cuya utilización se supone imprescindible para el desenvolvimiento económico y social en el mundo moderno. Nunca se ha planteado, en consecuencia, la posibilidad de atribuir responsabilidades globales sobre tales muertes a ningún estamento económico o institucional. Sin embargo, en los últimos años se han producido avances significativos en la comprensión del problema de los accidentes de tráfico, que pueden abrir el camino a la identificación de claras responsabilidades industriales, se perfila la idea de que las "matanzas" diarias del tráfico son algo muy distinto a una acumulación de fatalidades de responsabilidad individual, que es como son presentadas por las industrias interesadas y por las administraciones competentes.

Así, el avance en la seguridad del transporte ha sido incesante a lo largo de la historia de la humanidad. En la era moderna la inseguridad intrínsecamente asociada al viaje fue transformándose en una creciente seguridad, obtenida mediante la mejora tecnológica y el establecimiento de normas estrictas de operación de los sistemas de transporte. Sin embargo, este proceso histórico de ganancia de seguridad en el transporte se truncó en los principios del siglo XX, con la aparición del automóvil. Tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes de transporte, que habían venido descendiendo lenta pero firmemente a lo largo de los siglos, volvieron a incrementarse en los países en los que se introdujo el automóvil a un ritmo que no se había visto nunca con anterioridad en toda la historia humana.

En efecto, en las últimas décadas del siglo XX la entrada de los llamados "países en desarrollo" en el proceso de motorización masiva comenzó a disparar las cifras de la accidentalidad vial. La combinación de un rápido aumento del parque de vehículos,

⁴ <http://www.redcientifica.com/doc/doc200208160300.html>

con unos recursos muy limitados para seguridad, mantenimiento vial y vigilancia, comenzó a hacer verdaderos estragos en amplias regiones de África, Asia y Latinoamérica. Las reducciones de la accidentalidad que se lograron a partir de los años ochenta en algunos países desarrollados resultaron insignificantes frente al incremento de la accidentalidad en los países en desarrollo.

Todos los conceptos de seguridad vial han sido contruidos sobre la hipótesis de que la expansión del automóvil es un imperativo social, esto es, asumiendo que los seres humanos desean ardientemente disponer de más automóviles, más confortables y más rápidos, y desean también acceder en ellos al mayor número posible de lugares con la mayor velocidad posible.

Pero el peligro que suponen los automóviles para las personas deriva del hecho de que el cuerpo humano no está preparado para soportar las colisiones o impactos de diversas clases que pueden provocar los automóviles a partir de ciertos umbrales de velocidad. En términos físicos, ocurre que el organismo humano no puede absorber sin daños la energía mecánica entregada por tales colisiones. En consecuencia, es la propia existencia de automóviles circulando por encima de esos umbrales de velocidad la que constituye en sí misma el peligro. Y el grado de peligro reinante será proporcional al número de automóviles en circulación, y a su energía cinética, que es a su vez proporcional a la masa de los automóviles y al cuadrado de su velocidad.

1.2.1 ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN EL ECUADOR.

A nivel nacional para el período 1977–2004, la tasa cruda de mortalidad observada por accidentes de tránsito osciló entre valores máximos de 18,5 y 15,5 por cada cien mil habitantes,^{2,5} en los años 1977-1978, y valores menores que 10, a partir de 1998.

⁵ <http://www.hoy.com.ec/suplemen/blan383/negro1.htm>

De manera análoga, para la provincia de Pichincha las tasas más altas se observaron en los años 1978 (39,5) y 1979 (36,0) y las más bajas en los años 2001 (9,1) y 2004 (10,6). Igualmente, entre 1977 y 2004, el número de accidentes de tránsito por cada cien mil habitantes y por año, disminuyó de 238 a 125 para el país; y, de 422 a 187 para Pichincha. Sin embargo, el indicador de relación “heridos por cada cien mil habitantes”, que complementa la imagen del problema, no muestra la misma tendencia: para el período 1977–2004 a nivel nacional muestra un promedio de 53.2, con un máximo de 66.6 en el 2004.

El Servicio de Investigación de Accidentes de Tránsito (SIAT) atribuye los accidentes a la alta velocidad, maniobras de viraje no permitidas, impericia, desatención de circulación, sueño, conductores en estado etílico, entre otras causas. Este, indica que son poco comunes los casos en que los ocupantes de los vehículos involucrados en accidentes resultan ilesos. En la mayoría, si no fallecen, resultan con graves lesiones y mutilaciones que generan algún tipo de discapacidad, el SIAT afirma que las secuelas no sólo afectan a las víctimas sino a su entorno. Las familias tienen que atender a personas que quedan cuadrapléjicas, mutiladas, que pierden sus trabajos. Entonces, esto se convierte en un problema social.

Las muertes y las discapacidades, muchas de las veces, son ocasionadas porque un significativo porcentaje de buses urbanos e interprovinciales incumplen las normas de seguridad establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para la circulación de estos vehículos. Aunque estas datan de 1985, están recogidas en la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente, que fue aprobada en 1996.

Un estudio realizado por la organización Justicia Vial, en las paradas de los buses y en el terminal terrestre de Quito, determinó que seis de cada 10 vehículos incumplían con la normativa del INEN para construcción de carrocerías. Así mismo, siete de cada 10 buses no tenían los vidrios de seguridad. La muestra fue de 200 unidades en el terminal terrestre y 300 en las paradas de las 135 rutas urbanas de la capital.

1.3 CARROCERÍAS PARA BUSES.

La carrocería es el armazón del bus, formado por perfiles y planchas metálicas unidas entre sí, cuyo interior se destina para los habitáculos de los pasajeros (Figura 1-2).

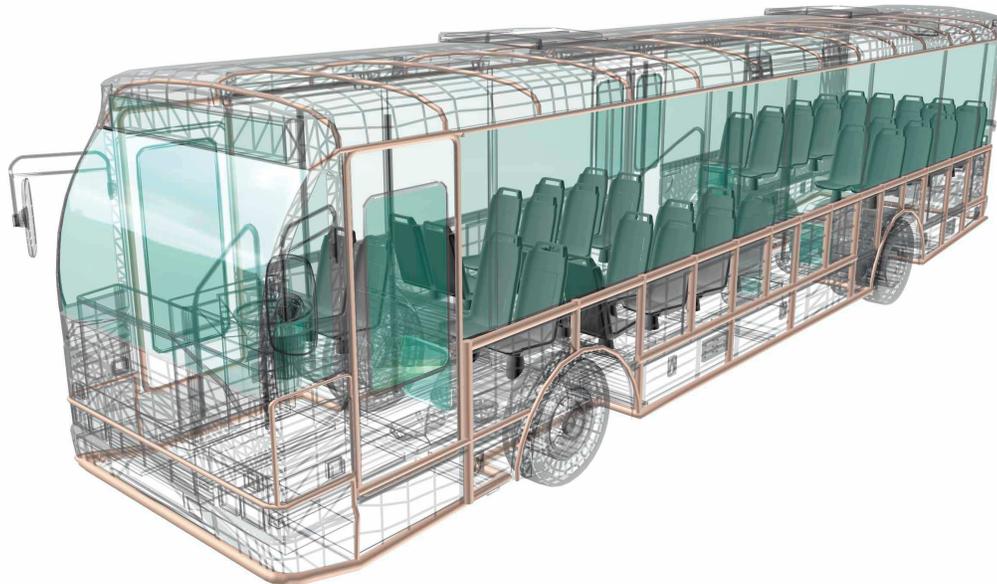


Figura 1-2. Carrocería para bus.⁶

1.3.1 SISTEMAS DE CARROCERÍAS.⁷

- Carrocería con chasis independiente.
- Carrocería con chasis plataforma.
- Carrocería autoportante o compacta.

1.3.1.1 Carrocería con chasis independiente.

Es el sistema más antiguo de los empleados en automóviles y el más sencillo, este tipo de carrocería se utilizó hasta la aparición de la autoportante o compacta.

⁶ http://www.antala.com/m_docs/BETAPRIME_5404.pdf

⁷ www.systemcover.com/descarga/33.doc

Este tipo de carrocería presenta las siguientes características:

- La carrocería tiene su propio piso.
- La carrocería es un elemento independiente que se monta y desmonta del chasis completa.
- Va atornillada a través de uniones elásticas.
- Dificultad para obtener sistemas con centro de gravedad bajos.

1.3.1.2 Carrocería con chasis plataforma.

Es un chasis aligerado que lleva el piso unido por soldadura, este tipo de carrocería es utilizada en pequeñas furgonetas y en vehículos de turismo destinados a circular por caminos en mal estado. (Figura 1-3).

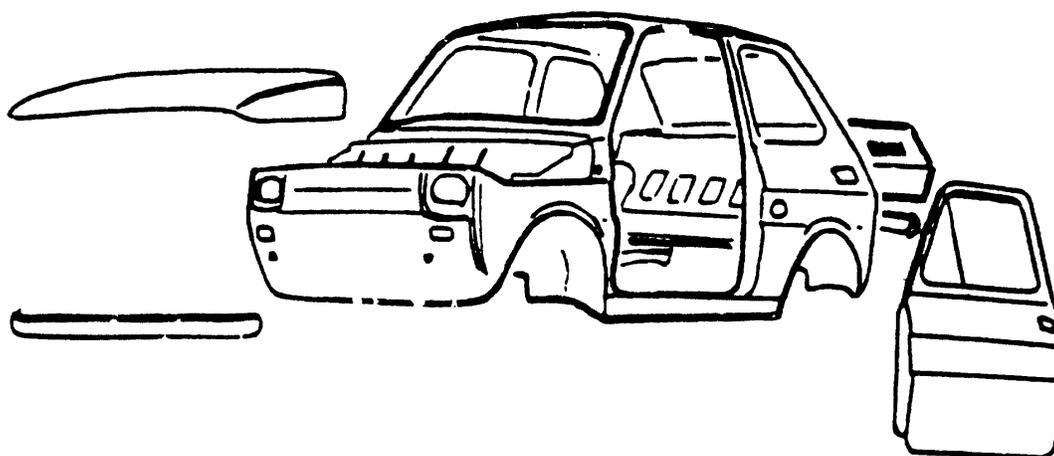


Figura 1-3. Carrocería monocasco, unida por soldadura.⁸

Los únicos elementos desmontables son: los capós, las puertas, los parachoques y el travesaño que soporta el motor.

Este tipo de carrocería presenta las siguientes características:

⁸ Mantenimiento de Vehículos; Equipo de Profesores del Centro de Documentación; CEDE; Madrid

- La plataforma es un chasis aligerado.
- La plataforma soporta a los órganos mecánicos y al piso.
- La plataforma puede rodar sin carrocería.
- La carrocería es independiente y se une a la plataforma por medio de tornillos o soldadura.

1.3.1.3 Carrocería autoportante o compacta.

Es la carrocería adoptada por la mayoría de los automóviles actuales, está formada por un gran número de piezas de chapas unidas entre si mediante puntos de soldadura por resistencia eléctrica y al arco. También tiene piezas unidas por tornillos. (Figura 1-4).

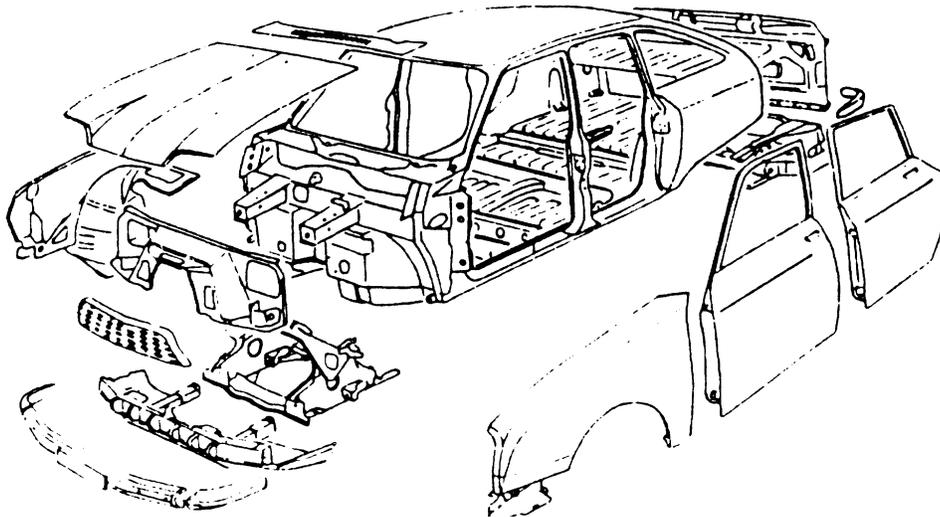


Figura 1-4. Carrocería autoportante.⁸

Este tipo de carrocería presenta las siguientes características:

- Está formada por un número muy elevado de piezas.
- Soporta todos los conjuntos mecánicos y se auto porta a sí misma.

1.3.2 SEGURIDAD EN LAS CARROCERÍAS PARA BUSES.⁷

La carrocería es un elemento importante de seguridad pasiva, ya que en caso de colisión absorbe la mayor cantidad de energía posible. El diseño de todas las carrocerías se basa en disipar desaceleraciones superiores a las que puede soportar el cuerpo humano.

1.3.2.1 Zonas de disipación de desaceleraciones.^{5,7}

- Zona central: formada por el habitáculo de pasajeros, es la zona más rígida del vehículo y debe ser indeformable.
- Zona frontal y trasera: Fácilmente deformables cuya misión es proteger la zona central transformando la energía cinética de la colisión en energía de deformación.

La carrocería no es sólo un marco de metal sobre el cual se colocan otras piezas que conforman el bus propiamente dicho, sino que debe garantizar un manejo sin contratiempos, como los producidos por las curvas cuando se viaja a exceso de velocidad. No es un simple juego de formas, su estructura ha sido desarrollada como una célula de seguridad, con una arquitectura que conduce de forma calculada los flujos de introducción de fuerzas.

En caso de impacto, las estudiadas "zonas de deformación" permiten lograr, de forma controlada, la máxima absorción de energía y la máxima protección de los ocupantes.

La estructura de la carrocería podrá estar constituida (formada o compuesta) de perfiles metálicos o cualquier otro material que ofrezca resistencia y seguridad.

Cualquiera que sea el material utilizado en la estructura de la carrocería del vehículo, las partes que la componen deberán presentar sólida fijación entre sí a través de la soldadura, de los remaches o de los tornillos, de modo de evitar ruidos y vibraciones del vehículo, cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios, la resistencia suficiente para soportar en los puntos de concentración de carga (apoyos, soportes, uniones, aberturas, etc.) todo tipo de esfuerzo al que puedan estar sometidos.

Las carrocerías de vehículos deberían ser verdaderas cápsulas de seguridad, habrían menos víctimas (mortales y lesiones graves) en los accidentes de tránsito si los vehículos se deformaran menos, porque la 'cápsula espacial' o de 'seguridad' no quedaría muy dañada y así habría mayor protección a los pasajeros.

En un estrellamiento, choque o volcamiento, la onda expansiva se traslada a la cabina y produce tres tipos de impactos a los pasajeros.

El impacto inicial lo reciben el conductor y los ocupantes; un segundo impacto se da desde la persona hacia las estructuras del vehículo (volante, parabrisas, techo, apoyacabezas, cinturón de seguridad) y el tercero se da entre los órganos del cuerpo hacia la estructura ósea de la persona (el corazón se impacta con el tórax, pulmones, costillas, el cerebro con las paredes frontales). Todo esto, en cuestión de segundos.

Es en el segundo impacto en donde se podría rebajar el elevado índice de muertes si es que las estructuras de los automotores cumplieran con las especificaciones técnicas. En accidentes de tránsito en los que se han visto involucrados buses de transporte interprovincial e interparroquial, se evidencian algunas consecuencias de los impactos, las víctimas fueron arrojadas fuera de los vehículos, se observan mutilaciones, decapitaciones, órganos expulsados del cuerpo, etc.

1.3.3 INCUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD EN LAS CARROCERÍAS.

Dentro de la normativa ecuatoriana, existen regulaciones para la fabricación de buses, estas son:

- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038:2008. Bus Urbano.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 Vehículos Automotores. Carrocerías Metálicas. Requisitos.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155. Vehículos Automotores. Equipos de Iluminación y Dispositivos para Mantener o Mejorar la Visibilidad.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669. Vidrios de Seguridad para Automotores. Requisitos.
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011. Neumáticos.
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034. Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores.

Los requisitos generales que deben cumplir las carrocerías de buses son entre otros⁵:

Las cerchas o cimbras de los techos de los buses deben ir colocadas con separaciones convenientes entre ellas. Así, cuando el vehículo se vira o se vuelca, la carrocería no se deforma ni se rompe sino que se convierte en una especie de “caja de seguridad”.

El chasis debe ser originario de fábrica y construido específicamente para buses. Este puede ser alargado sólo con recomendación del fabricante. Cada bus debe tener dos puertas, tener salidas de emergencia manuales y de fácil ejecución y lo suficientemente seguras contra vibraciones y accidentes, entre otras especificaciones del INEN.

El vidrio de los parabrisas delanteros y posteriores debe ser laminado (dos vidrios que tienen en la mitad una lámina de poli vinil butiral PVB). Esto le impide explotar en el momento de un accidente y se convierte en una especie de telaraña que evita su dispersión, sin producir aristas cortantes, conservando su forma o posición originales.

Los vidrios laterales deben ser templados. O sea, láminas monolíticas de vidrio tratadas térmicamente que les confiere mayor resistencia a esfuerzos externos y cambios térmicos. En caso de rotura, la pieza entera se rompe en pedazos granulares, no cortantes.

En caso de un accidente la mayoría de víctimas sufren cortes, laceraciones, incisiones fracturas y golpes al momento de ser rescatadas. Muchos fallecen porque las carrocerías incumplen los estándares de seguridad.

También se ha constatado que en muchos vehículos se instalan vidrios 'crudos', que se usan para ventanales de casas (Figura 1-5). La Cruz Roja confirma que en el momento de un volcamiento, las estructuras se desarman.





Figura 1-5. Vidrios crudos luego de un accidente, usados en carrocerías de buses.⁹

Así mismo, si se observan los buses que circulan por las calles y las carreteras, es fácil detectar que muchas carrocerías han sido montadas en chasis de camiones.

Esto se evidencia, en su mayoría, en el transporte urbano especial, escolar, interparroquial e interprovincial.

El motor de camión es para arrastrar carga y por eso es más fuerte. Al adecuarle una carrocería para transportar pasajeros, su carga total no cubre la capacidad del vehículo y le hace más veloz. La velocidad sumada a la imprudencia del chofer provoca accidentes en estos automotores. Es indispensable que el chasis a emplear haya sido diseñado específicamente para ser carrozado como bus. La configuración de este, ubica al centro de gravedad del vehículo a una altura menor en comparación con la altura del centro de gravedad. Es decir, al emplear un chasis para bus se está aportando mayor estabilidad al vehículo.

⁹ CRILAMYT S.A, Primer Congreso de Innovación, Desarrollo y Competitividad en la Fabricación de Carrocerías; Vidrios de Seguridad en Vehículos; Ambato; 2007

1.3.3.1 Fabricación informal de carrocerías.

En el país existen alrededor de 130 fabricantes de carrocerías. De ellas, más del 67% se localiza en la provincia del Tungurahua. El restante se distribuye en Pichincha, Guayas, Manabí, Imbabura, Azuay, Cotopaxi y El Oro. Se estima que sólo un 20% de las empresas cumpliría con las especificaciones del INEN para la construcción de carrocerías.

Al menos un 54% serían informales. El resto (26%) se estima que están a cargo de personas que no han recibido capacitación técnica o que han trabajado en empresas que fabrican carrocerías.

De la producción nacional de carrocerías, el sector llamado formal que agrupa unas 20 empresas aporta con 1960 unidades al año. Esto cubre el 36% de la demanda nacional. Mientras que el restante 64% (unas 4000 unidades) lo provee el grupo considerado entre informal y artesanal.

1.3.3.2 Vida útil de las unidades.

La vida útil de los carros de servicio interprovincial es de 30 años, según disposiciones del Consejo Nacional de Tránsito (CNT), esta normativa rige al sector del transporte público.

Un informe socioeconómico confirma que seis de cada 10 buses y colectivos que ruedan por las calles y carreteras tienen más de 10 años de existencia.

La Ex Empresa Metropolitana de Servicios y Administración de Transporte (EX-EMSAT), actual EMMOP-Q, afirma que los buses que circulan en la capital cumplen las regulaciones. En estos se cuentan buses convencionales y alimentadores de las troncales viales.

En la categoría de “urbanos convencionales” (además de los buses azules, cuya vida útil es de 15 años, que cumplirían la reglamentación del INEN), también se incluyen los carros “especiales” y “populares”. Para certificar esos carros, la EX-EMSAT considera tres variables: electromecánica, kilometraje y condiciones físicas.

En el Distrito Metropolitano, operan 2570 unidades de transporte público (incluidos trolebuses y articulados). Además, 570 interparroquiales. A escala nacional, hay más de 10 mil unidades de transporte de pasajeros, según la Subsecretaría de Transporte.

La nueva Ley de Tránsito y Transporte Terrestre, determina, con el carácter de obligatorias, las normas de seguridad que deben observar los buses urbanos e interprovinciales, recogidas de un documento del INEN.

Las especificaciones dan cuenta, entre otras cosas, de la calidad de las carrocerías de las unidades de transporte masivo; esto es, de las unidades donde se movilizan, de un lugar a otro, a los ecuatorianos menos pudientes.

1.4 DIAGNÓSTICO DE LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL DE LAS CARROCERÍAS ECUTORIANAS.

Es necesario conocer el tipo de material estructural que comúnmente se emplea en la industria carrocera ecuatoriana para analizar sus ventajas, desventajas y compararlo con materiales empleados en otros países pero con características superiores. Para este propósito se llevó a cabo una encuesta en las principales empresas carroceras del país.

1.4.1 ENCUESTA REALIZADA.

El formato de la encuesta se lo puede observar en el anexo A. Los gráficos de resultados obtenidos en las encuestas se los puede observar en el anexo B.

1.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS

La encuesta ha sido dirigida a los jefes de producción o jefes de planta de las 20 principales empresas dedicadas a la fabricación de carrocerías para buses en el país.

Pregunta 1.- ¿Qué tipo de aceros usan para la parte estructural de las carrocerías?

Tabla 1-1. Tipo de acero utilizado.¹⁰

ITEM	CONTEO
ASTM A36	11
ASTM A517	2
ASTM A500	1

Pregunta 2.- ¿En qué criterio basan la selección del acero?

Tabla 1-2. Criterios para la selección.¹⁰

ITEM	CONTEO
Experiencia	2
Costo	4
Características Técnicas	9
Recomendaciones del Fabricante	2
Facilidad de Adquisición en el Mercado	3
Pruebas	1
Calidad	1

Pregunta 3.- ¿Qué tipo de perfiles usan para la construcción de sus carrocerías?

¹⁰ Fuente: Propia

Tabla 1-3. Perfiles usados.¹⁰

ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO
Cuadrado	11	G	5
Rectangular	11	Omega	6
Redondo	4	Ángulos	10
T	4	Platinas	9
U	9	Planchas	10

Pregunta 4.- ¿Qué tipos de perfiles construye su empresa?

Tabla 1-4. Perfiles que construyen las empresas.¹⁰

ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO
Z	4	U	6
Omega	2	L	2
G	4	C	1
No Construye	3		

Pregunta 5.- ¿Conoce la composición química del acero que usa?

Tabla 1-5. Conocimiento de la composición química.¹⁰

ITEM	CONTEO
Si	8
No	3

Pregunta 6.- ¿Qué tipo de acero usa?

Tabla 1-6. Tipo de acero usado.¹⁰

ITEM	CONTEO
Acero Galvanizado	10
Acero Laminado en Caliente	9
Acero Negro	8
Acero Laminado en Frío	7
Inoxidable	1

Pregunta 7.- ¿En qué basa la selección del perfil a usarse en la construcción de la carrocería?

Tabla 1-7. Criterios para la selección del perfil.¹⁰

ITEM	CONTEO
Cálculo Estructural	10
Conocimiento Transmitido	4
Diseño Adoptivo	4
Recomendaciones Fabricante (manual de carrozado)	2
Facilidad de Montaje	1

Pregunta 8.- ¿Según qué norma le suministra el proveedor los ensayos de los materiales?

Tabla 1-8. Normas de los ensayos.¹⁰

ITEM	CONTEO
ASTM	9
INEN	5
AISI	2
SAE	2
JIS	1

Pregunta 9.- ¿Quiénes son sus proveedores?

Tabla 1-9. Proveedores.¹⁰

ITEM	CONTEO
Dipac	9
Ipac	9
Aceropaxi	5
Kubiec	1
Ideal	1

Pregunta 10.- ¿Cuáles son las especificaciones técnicas que cumple el material estructural que usan?

Tabla 1-10. Especificaciones técnicas.¹⁰

ITEM	CONTEO
ASTM	10
AISI	2
SAE	1
DIN	1

Pregunta 11.- ¿Qué tratamiento realiza la empresa al material antes del proceso de construcción?

Tabla 1-11. Tratamiento que se realiza al material. ¹⁰

ITEM	CONTEO
Decapado	2
Desengrase	9
Pintura anticorrosiva	11
Limpieza Ácida	3
limpieza Mecánica	3
Fosfatizado	1

Pregunta 12.- ¿De los siguientes tipos de ensayos, cuáles realiza la empresa?

Tabla 1-12. Realización de ensayo de tracción. ¹⁰

TRACCIÓN		FLEXIÓN		DOBLADO		SOLDADURA	
ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO
Si	1	Si	4	Si	2	Si	1
No	10	No	7	No	9	No	10

ITEM-TOTAL	CONTEO
Si realiza algún tipo de prueba	4
No realiza ningún tipo de prueba	7

Pregunta 13.- ¿Qué proceso de soldadura utiliza?

Tabla 1-13. Proceso de soldadura utilizado. ¹⁰

ITEM	CONTEO
SMAW	9
GMAW	9

Pregunta 14.- ¿Qué tipo de electrodo utiliza para los procesos SMAW y GMAW?

Tabla 1-14. Conocimiento del electrodo utilizado. ¹⁰

SMAW		GMAW	
ITEM	CONTEO	ITEM	CONTEO
E6011	8	ER70S-6	6
E6013	3		
E7018	1		
ITEM-TOTAL		CONTEO	
Si sabe		9	
No sabe		2	

1.4.3 SITUACIÓN ACTUAL.

Analizando los datos obtenidos de las encuestas realizadas, se observa que la mayoría de empresas consultadas usan como acero estructural para las carrocerías el acero ASTM A36, su criterio de selección se basa en las características técnicas, el perfil más empleado es el tubo cuadrado y el rectangular, así también, el perfil que más se construye para ser empleado como miembro estructural es el tipo U. Se observa también que la mayoría de empresas encuestadas afirman conocer la composición química del acero que emplean y trabajan con acero galvanizado laminado en caliente para cuya selección se basan en un cálculo estructural.

Los principales proveedores de aceros de las empresas encuestadas son IPAC y DIPAC, los cuales les proporcionan los ensayos y especificaciones técnicas de los materiales bajo las norma ASTM.

Los tratamientos más realizados al material antes del proceso de construcción son los de pintura anticorrosiva y desengrase.

La mayoría de las empresas no someten al material a ningún tipo de ensayo.

Los procesos más utilizados para realizar las soldaduras son GMAW y SMAW, donde la mayoría de las empresas sí tienen conocimiento a cerca del electrodo que usan, siendo el E6011 el más usado en el proceso SMAW y el ER70S-6 el único usado en el proceso GMAW.

CAPÍTULO 2

MATERIALES ESTRUCTURALES

2.1 EL ACERO.¹¹

El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros) se moldean.

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m^3 .
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de $1510 \text{ }^\circ\text{C}$, sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de $1375 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2500 \text{ }^\circ\text{F}$).
- Es un material muy tenaz, especialmente en algunas de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.

¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>

- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo.
- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los aceros estructurales en el transcurso de un incendio.

2.2 ELEMENTOS ALEANTES EN EL ACERO.¹¹

Los aleantes que se adicionan al acero son elementos que le brindan características y propiedades superiores, gracias a las cuales se pueden satisfacer los diversos requerimientos del acero para varias aplicaciones.

Aunque la composición química de cada fabricante de aceros es casi secreta, certificando a sus clientes sólo la resistencia y dureza de los aceros que producen, sí se conocen los compuestos agregados y sus porcentajes admisibles, los cuales son:

- *Aluminio*: se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. Todos los aceros aleados en calidad contienen aluminio en porcentajes pequeñísimos, variables generalmente desde 0,001 a 0,008%.

- *Boro*: logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado.
- *Cobalto*: muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. El cobalto es un elemento poco habitual en los aceros. Se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.
- *Cromo*: es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0,30% a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc. Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidables y refractarios; también se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.
- *Estaño*: es el elemento que se utiliza para recubrir láminas muy delgadas de acero que conforman la chapa metálica.
- *Manganeso*: aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perjudicial influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero se desprendan gases que

den lugar a porosidades perjudiciales en el material. Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981° aprox.) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación. Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes de manganeso variables de 0,30 a 0,80%.

- *Molibdeno*: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidables austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.
- *Nitrógeno*: se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.
- *Níquel*: una de las mayores ventajas que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad. El níquel además hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los aceros aleados con níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación. En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para máquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno.

El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidable y resistentes a altas temperaturas, en los que además de cromo se emplean porcentajes de níquel variables de 8 a 20%. Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El níquel se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.

- *Plomo*: el plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0,15% y 0,30% debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0,5% debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente, se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.
- *Silicio*: aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.
- *Titanio*: se usa para estabilizar y desoxidar el acero.
- *Tungsteno*: también conocido como wolframio. Forma con el hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando muy altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas.
- *Vanadio*: posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.
- *Zinc*: es el elemento clave para producir chapa de acero galvanizado ya que protege al acero de la corrosión al ser el zinc más oxidable, menos noble que

el acero y generar un óxido estable, protege al acero de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire, brinda protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio.

Los porcentajes de cada uno de los aleantes que pueden configurar un tipo determinado de acero están normalizados.

2.3 APLICACIONES DEL ACERO.¹²

El acero en sus distintas clases está presente de forma abrumadora en nuestra vida cotidiana en forma de herramientas, utensilios, equipos mecánicos y formando parte de electrodomésticos y maquinaria en general así como en las estructuras de las viviendas que habitan y en la gran mayoría de los edificios modernos.

Los fabricantes de medios de transporte de mercancías (camiones) y los de maquinaria agrícola son grandes consumidores de acero.

También en las actividades constructoras de índole ferroviario desde la construcción de infraestructuras viarias así como la fabricación de todo tipo de material rodante se emplea gran cantidad de acero.

Otro tanto cabe decir de la industria fabricante de armamento, especialmente la dedicada a construir armamento pesado, vehículos blindados y acorazados.

También consumen mucho acero los grandes astilleros constructores de barcos especialmente petroleros u otros buques cisternas.

¹² <http://www.grupomasur.com/consejosacero.php>

Como consumidores destacados de acero cabe citar a los fabricantes de automóviles porque muchos de sus componentes significativos son de acero. A modo de ejemplo cabe citar los siguientes componentes del automóvil que son de acero:

- Son de acero forjado entre otros componentes: cigüeñal, bielas, piñones, ejes de transmisión de caja de velocidades y brazos de articulación de la dirección.
- De chapa de estampación son las puertas y demás componentes de la carrocería de automóviles mientras que de perfiles rectangulares son los componentes de la carrocería de autobuses.
- De acero laminado son los perfiles que conforman el bastidor.
- Son de acero todos los muelles que incorporan como por ejemplo; muelles de válvulas, de asientos, de prensa embrague, de amortiguadores, etc.
- De acero de gran calidad son todos los rodamientos que montan los automóviles.
- De chapa troquelada son las llantas de las ruedas, excepto las de alta gama que son de aleaciones de aluminio.
- De acero son todos los tornillos y tuercas.

Cabe destacar que cuando el automóvil termina su vida útil por su antigüedad y deterioro, se separan todas las piezas de acero que son convertidas en chatarra y son recicladas de nuevo en acero mediante hornos eléctricos y trenes de laminación o piezas de fundición de hierro.



Figura 2-1. Aplicaciones del acero.¹²

2.4 CLASIFICACIÓN DEL ACERO.¹¹

Existe una gran cantidad de aleaciones con diferentes composiciones químicas y tratamientos térmicos, lo cual hace que existan aleaciones con un rango de propiedades mecánicas muy amplio. Las propiedades mecánicas de los aceros son sensibles al porcentaje de carbono, el cual normalmente es menor a 2%.

Algunos de los aceros más comunes se clasifican de acuerdo a su concentración de carbono: bajo, medio y alto carbono. Las características principales de estas aleaciones son las siguientes:

2.4.1 ACEROS DE BAJO CARBONO.

- Generalmente contienen menos de 0.25% de carbono.
- Son los que se producen comercialmente en mayor cantidad.
- No responden a tratamientos térmicos que forman martensita (no adquieren dureza sensible con un temple).
- Su resistencia media en estado normalizado varía de 35 a 53 Kg/mm² y los alargamientos de 33 a 23%.
- Su incremento en la resistencia puede lograrse por medio de trabajo en frío.
- Su microestructura consiste de ferrita y perlita.
- Son aleaciones relativamente suaves y débiles pero con una ductilidad y tenacidad sobresalientes. Son maquinables y soldables.
- Son las de menor costo de producción.
- Sus aplicaciones típicas son: componentes de automóviles, perfiles estructurales, láminas, tuberías.

2.4.2 ACEROS ALEADOS.¹³

Se denominan aceros aleados a aquellos aceros que además de los componentes básicos del acero: carbono, manganeso, fósforo, silicio y azufre, forman aleaciones con otros elementos como el cromo, níquel, molibdeno, etc. que tienen como objetivo mejorar algunas de las características fundamentales, especialmente la resistencia mecánica y la dureza.

También pueden considerarse aceros aleados los que contienen alguno de los cuatro elementos básicos del acero, en mayor cantidad que los porcentajes que normalmente suelen contener los aceros al carbono, y cuyos límites superiores suelen ser generalmente los siguientes: Si=0.50%; Mn=0.90%; P=0.100% y S=0.100%.

¹³ http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm

Estos aceros de aleación se pueden subclasificar en:

2.4.2.1 Estructurales.

Se define como acero estructural al producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas.

Se emplea para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además se utiliza en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25% a un 6%.

2.4.2.2 Para Herramientas.

En la fabricación de cualquier tipo de herramientas: útiles de punzonar y cortar, conformar, estampar, extrusionar en frío, etc. se emplea un acero apropiado para herramientas, dicho acero cumple con que: la resistencia al desgaste, la tenacidad y la dureza y la resistencia a la compresión son aquellas que permitan que las herramientas fabricadas sean suficientemente duras y resistentes a la compresión, sean resistentes al desgaste y tengan la suficiente tenacidad para que puedan soportar, sin romperse, aquellas condiciones de trabajo a las que eventualmente están sometidas y, que su vida útil o ciclo de trabajo en servicio sea lo más largo posible.

Por lo tanto, son aceros de alta calidad que se emplean en herramientas para cortar y modelar metales y no-metales y sirven para cortar y construir herramientas tales como taladros, escariadores, fresas, terrajas y machos de roscar.

2.4.2.3 Especiales.

Los Aceros de Aleación especiales son los aceros inoxidable y aquellos con un contenido de cromo generalmente superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión se emplean en turbinas de vapor, engranajes, ejes y rodamientos.

2.4.3 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN (HSLA).

- Es un subgrupo de los aceros de bajo carbono.
- Contienen elementos de aleación como cobre, vanadio, níquel y molibdeno en concentraciones combinadas de 10% o menos.
- Poseen mayor resistencia que los aceros regulares de bajo carbono.
- Muchos de ellos pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Además son dúctiles, formables y maquinables.
- En condiciones normales, los aceros HSLA son más resistentes a la corrosión que los aceros al carbono.

2.4.4 ACEROS DE MEDIO CARBONO.

- Tienen concentraciones de carbono entre 0.25 y 0.60 %.
- Pueden ser tratados térmicamente por austenizado, templado y revenido. Normalmente se utilizan en la condición revenida.
- Los aceros no aleados (al carbono) tienen baja capacidad de endurecimiento y sólo pueden tratarse térmicamente en secciones delgadas y con elevada rapidez de enfriamiento.
- Al añadir cromo, níquel y molibdeno se mejora la capacidad de estas aleaciones de ser tratadas térmicamente. Estas aleaciones tienen mayor resistencia que los aceros de bajo carbono pero sacrificando ductilidad y tenacidad.

- Se utilizan en aplicaciones que requieren la combinación de elevada resistencia, resistencia al desgaste y tenacidad.

2.4.5 ACEROS DE ALTO CARBONO.

- Su contenido de carbono varía entre 0.6 y 1.4%.
- Son los aceros más duros, más resistentes y menos dúctiles de los aceros al carbono.
- Casi siempre se utilizan revenidos, por ello tienen una resistencia al desgaste especial y son capaces de mantener un filo cortante.
- Los aceros para herramienta (tool steels) caen dentro de la categoría de aceros de alto carbono. Contienen cromo, vanadio, tungsteno y molibdeno. Esos elementos de aleación se combinan con el carbono para formar carburos muy duros y resistentes al desgaste (Cr_2C_3 , V_4C_3 , WC). Se utilizan para fabricar herramientas de corte.

2.4.5.1 Nomenclatura ASTM-AISI de los aceros al carbono.¹⁴

En las normas ASTM, para referirse a los distintos aceros, se puede hablar de "grado", "clase" o "tipo". Por ejemplo A106 Grado A, A48 Clase 20A, A276 Tipo 304.

Los códigos numéricos o alfanuméricos usados para referirse a un acero, a veces tienen algo de significado. En los grados designados por letras del alfabeto A, B, C,.. el contenido de carbono y su resistencia mecánica aumentan en el mismo orden. En las clases, el código numérico indica su tensión de ruptura en PSI.

La designación de un mismo acero también cambia según se trate de un producto laminado, forjado (se usa nomenclatura AISI, ejemplo TP304 para tubos y cañerías, F304 para piezas forjadas, WP304 y CR304 para fittings) o un producto fundido (se

¹⁴ Tubocobre S.A. Boletín técnico.

usa nomenclatura ACI, ejemplo CF8 para el cuerpo fundido de una válvula, no se dice "304 fundido").

Esta gran diversidad y falla de sistematización se trata de resolver, mediante un sistema de numeración unificado UNS (Unifred Numbering System) acordado entre ASTM y SAE, que poco a poco se ha ido divulgando. Sin embargo, el peso de la costumbre es algo difícil de eliminar.

Tabla 2-1. Nomenclatura de los aceros al carbono.¹⁴

Aceros al Carbono	Descripción
10XX	no-resulfurado, 1.00 Mn máx
11XX	resulfurado
12XX	resulfurado y refosforizado
15XX	no-resulfurado, sobre 1.00 Mn máx
Aceros aleados	
13XX	1.75 Mn
40XX	0.20 o 0.25 Mo, o 0.25 Mo + 0.042 S
41XX	0.50, 0.80 o 0.95 Cr + 0.12, 0.20 o 0.30 Mo
43XX	1.83 Ni, 0.50-0.80 Cr, 0.25 Mo
46XX	0.85 o 1.83 Ni + 0.20 o 0.25 Mo
47XX	1.05 Ni, 0.45 Cr, 0.20 o 0.35 Mo
48XX	3.50 Ni + 0.25 Mo
51XX	0.80, 0.88, 0.93, 0.95 o 1.00 Cr
51XXX	1.03 Cr
52XXX	1.45 Cr
61XX	0.60 o 0.95 Cr + 0.13 o 0.15 V min
86XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.20 Mo
87XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.25 Mo
88XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.35 Mo
92XX	2.00 Si o 1.40 Si + 0.70 Cr
50BXX	0.28 o 0.50 Cr, 0.0005 - 0.003 B
51BXX	0.80 Cr, 0.0005-0.003 B
81BXX	0.30 Ni, 0.45 Cr, 0.12 Mo, 0.0005 - 0.003 B
94BXX	0.45 Ni, 0.40 Cr, 0.12 Mo, 0.0005 - 0.003 B

El sistema de designación AISI/SAE utiliza cuatro dígitos para designar los aceros al carbono y aceros aleados. Los dos últimos dígitos indican el contenido de carbono en centésimas de porcentaje. Para aceros al carbono el primer dígito es 1. Los aceros al

carbono corrientes se designan IOxx (ejemplo 1045 es acero al carbono con 0.45% de carbono).

En los aceros aleados, los dos primeros dígitos indican los principales elementos de aleación y sus rangos. A veces se intercalan letras después de los dos primeros dígitos para indicar otra característica (B indica Boro, L indica Plomo). También pueden usarse prefijos (M indica calidad corriente, E indica horno eléctrico, H indica endurecibles).

2.4.6 ACEROS INOXIDABLES.

- Poseen una resistencia elevada a la corrosión en una variedad de entornos, especialmente el medio ambiente.
- El elemento principal de aleación es el cromo (se requiere de al menos 11% de cromo en el acero). La resistencia a la corrosión puede mejorarse al añadir níquel y molibdeno.
- Se dividen en tres clases: martensítico, ferrítico y austenítico.
- Los aceros inoxidable austeníticos y ferríticos sólo pueden endurecerse por trabajo en frío.
- Los aceros inoxidable austeníticos son los que tienen mayor resistencia a la corrosión debido a su contenido elevado de cromo. Se producen en grandes cantidades.
- Los aceros inoxidable martensíticos y ferríticos son magnéticos. Los aceros austeníticos son no-magnéticos.

2.4.6.1 Nomenclatura AISI-SAE de aceros inoxidable.¹⁴

Para los aceros inoxidable se usa el sistema AISI que utiliza un código de tres dígitos y a veces seguido de una o más letras. El primer dígito da una pista de la clase de acero. Serie 2xx y 3xx corresponden a aceros austeníticos. La serie 4xx incluye los aceros ferríticos y martensíticos. El segundo y tercer dígito no están

relacionados a la composición ni se sigue una secuencia (ejemplo 430 y 446 son ferríticos mientras que 431 Y 440 son martensíticos).

Tabla 2-2. Nomenclatura de aceros inoxidable.¹⁴

Sufijo AISI	Sufijo UNS	Descripción
xxxL	xxx01	bajo carbono < 0.03% evita SCC
xxxS	xxx08	bajo carbono < 0.08%
xxxN	xxx51	nitrógeno agregado mayor resistencia
xxxLN	xxx53	bajo C < 0.03% + N agregado
xxxF	xxx20	mayor S y P mejor mecanizado
xxxSe	xxx23	Selenio mejor mecanizado
xxxB	xxx15	Si agregado evita descamado
xxxH	xxx09	Mayor contenido de carbono
xxxCu	xxx30	Cobre agregado

Las letras de sufijo pueden indicar la presencia de un elemento adicional o indicar alguna característica especial, (L indica bajo carbono, N indica nitrógeno, Se indica selenio, H indica mayor cantidad de carbono para alta temperatura). Las letras del sufijo llevan asociadas un par de dígitos; terminales en el correspondiente número UNS.

Hay muchos aceros inoxidables que no están en el Sistema AISI como los endurecibles por precipitación (clase PH) y la mayoría de los aceros dúplex. Un grupo importante de estos aceros se designa con nombres propios registrados (ejemplo 17-4PH, SAF2507, Zerón 100, Ferralium 255 etc.) o simplemente por su UNS.

2.5 EL ALUMINIO.¹⁵

Es el metal más abundante en el mundo. Constituye el 8% de la porción sólida de la corteza terrestre. Todos los países poseen grandes existencias de materiales que contienen aluminio. En estado puro es demasiado blando, debidamente aleado se obtienen resistencias comparables al acero, por lo cual es útil para toda industria, desde la construcción, decoración, minería, iluminación hasta la industria aeronáutica.

Es el único metal que proporciona una buena relación dureza / peso, es sumamente fácil de pulir, tenaz, dúctil y maleable, posee una gran resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica y eléctrica, teniendo la mejor relación beneficios - costo que cualquier otro metal común. El aluminio brinda a los ingenieros, arquitectos, diseñadores, etc., la posibilidad de desarrollar una gran variedad de diseños, ya sea con el uso de perfiles estándares o a través del desarrollo de perfiles personalizados.

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del aluminio debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aluminio con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Es un metal blanco, con una alta reflectividad de la luz y el calor.
- La ligereza de la masa (peso) del aluminio es una de las propiedades más conocidas que este metal posee. Un centímetro cúbico de aluminio puede tener una masa de aproximadamente 2,699 g, comparado con los 7,85 g del acero 8,46 g del cobre. Su peso es casi un tercio del acero.

¹⁵ <http://www.textoscientificos.com/quimica/aluminio>

- Su conductividad eléctrica puede llegar a representar el 63,8% de la del cobre (en la aleación 6063 llega al 54%), sin embargo con igual masa de base, el aluminio dobla la capacidad conductiva del cobre.
- El aluminio tiene una alta conductividad térmica, que sólo es superada por el cobre, siendo además cuatro veces más grande que la conductibilidad del acero.
- Su temperatura de fusión es de 660,2 °C.
- El aluminio es muy reflectivo en la luz y con la radiación solar, más que ningún otro metal corriente. La reflectividad varía de acuerdo al grado de energía o las condiciones superficiales del metal.
- El aluminio presenta buena resistencia a la corrosión, se debe a la formación espontánea de una película muy delgada de óxido de aluminio que es insoluble en agua, la cual la protege del medio ambiente y la corrosión, tanto en forma de metal puro como cuando forma aleaciones, la cual le da las mismas ventajas que el acero inoxidable y lo hace verse muy bien en comparación con el acero.
- El aluminio y sus derivados son eternamente no tóxicos.
- El aluminio es uno de los metales blancos que posee brillo natural de apariencia atractiva. Sin embargo adicionalmente a sus condiciones naturales, se le puede dar diversos tipos de acabado de textura y color, que se caracterizan por su resistencia al paso del tiempo.

2.5.1 ALEACIONES DE ALUMINIO.

El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

El aluminio puro es relativamente débil, por ello se han desarrollado diversas aleaciones con diversos metales como el cobre, magnesio, manganeso y zinc, por lo

general, en combinaciones de dos o más de estos elementos junto con hierro y silicio, obteniéndose una infinidad de aleaciones para una gran variedad de aplicaciones incluso con características superiores al acero.

Al igual que los aceros, la familia de las aleaciones de aluminio es vasta y sus propiedades físico-químicas dependerán de la combinación adecuada de sus aleantes (Cu, Mn, Si, Mg, Zn o Li), lo que las conferirá un uso específico.

2.5.2 NOMENCLATURA AAI DEL ALUMINIO.

La Aluminium Association Inc. (AAI), ha clasificado las aleaciones de aluminio mediante la siguiente nomenclatura:

- Serie 1000: Aluminio con un mínimo de pureza de 99%.
- Serie 2000: Aleado con Cobre.
- Serie 3000: Aleado con Manganeso.
- Serie 4000: Aleado con Silicio.
- Serie 5000: Aleado con Magnesio.
- Serie 6000: Aleado con Silicio - Magnesio.
- Serie 7000: Aleado con Zinc.

2.5.2.1 Características de las aleaciones (series).

Serie 1000.

Alta resistencia a la corrosión.

No tóxico.

Excelente acabado.

Excelente maleabilidad.

Alta conductividad eléctrica y térmica.

Excelente reflectividad.

Serie 2000.

Alta resistencia mecánica.

Alta resistencia a la corrosión.

Buena maquinabilidad.

Serie 3000.

Buena resistencia mecánica.

Alta resistencia a la corrosión.

Buena maleabilidad.

Serie 4000.

Alta resistencia al calor.

Serie 5000.

Buena resistencia mecánica.

Alta resistencia a la corrosión, especialmente al agua de mar.

Muy buena soldabilidad.

Serie 6000.

Buena resistencia mecánica.

Buena resistencia a la corrosión.

Buena maquinabilidad.

Buena soldabilidad.

Serie 7000.

Alta resistencia mecánica.

Buena maquinabilidad.

2.5.3 APLICACIONES DEL ALUMINIO ALEADO.

Debido a su baja densidad de 2.70 g/cm^3 , el aluminio se utiliza cuando el peso es un factor importante, como ocurre en las aplicaciones aeronáuticas y de automoción.

Esta ventaja ha permitido el desarrollo de muchas industrias como la aeronáutica y el transporte, además de facilitar la manipulación de los perfiles, reduciendo los costos de transporte y mano de obra.

Este material es muy utilizado en varias aplicaciones ya que posee una gran resistencia a la corrosión.

Debido a su alta temperatura de fusión, ofrece grandes ventajas al ser usado en utensilios de cocina, industria química, aire acondicionado, disipadores de calor entre otras industrias.

Al no ser tóxico, el aluminio está presente en los utensilios de cocina, envases industriales, etc. los que no producen efectos nocivos.

Por la buena apariencia que posee, es un metal muy utilizado por arquitectos y diseñadores.

2.6 MATERIALES ESTRUCTURALES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Los vehículos anteriores a 1985 eran construidos con materiales que contenían una gran cantidad de hierro para tratar de hacerlos más resistentes a los choques, pero a su vez eran vehículos muy pesados, gastaban más combustible y además la fuerza del impacto no era absorbida por la estructura sino transmitida a los ocupantes. A partir de 1985 los fabricantes empiezan a incorporar tanto al chasis como a la

carrocería unos nuevos materiales y aleaciones basadas en aceros que permiten una mejor resistencia al impacto, son más livianos y absorben mucho mejor la fuerza del choque. Por lo tanto para garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo, los fabricantes han tratado de crear una especie de jaula de protección para que el impacto no afecte a los pasajeros, lo cual de alguna forma es bastante ventajoso¹⁶.

2.6.1 ACERO ASTM A36.

Es el material estructural más usado para la construcción de estructuras en el mundo. Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98%), con contenidos de carbono menores del 1% y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, sílice y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la intemperie. Es un material usado para la construcción de estructuras de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas está la gran resistencia a tensión y compresión y el costo razonable.

El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 36000 psi¹⁶.

De acuerdo a las encuestas analizadas en el Capítulo I, el acero ASTM A36 es el más usado en la industria carrocera ecuatoriana con pleno conocimiento de sus características técnicas, composición química y propiedades que lo hacen el material estructural más común en la fabricación de buses. Por su gran disponibilidad en el mercado, por su uso tradicional y, esencialmente, por falta de un debido proceso investigativo de otras opciones de materiales, este acero es el único utilizado de forma abrumadora y a la vez no conveniente. Más adelante se explicarán las

¹⁶ http://www.holmatro-usa.com/espanol/artuculos/TECNOLOGIA_Y_RESCATE_EN_VEICULOS_MODERNOS.pdf

razones por las cuales el acero ASTM A36 no es la única ni mucho menos la mejor opción para la fabricación de las estructuras de las carrocerías de buses.

2.6.1.1 Ventajas y desventajas del acero ASTM A36 como material estructural.

2.6.1.1.1 Ventajas.

- *Alta resistencia.*- La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.
- *Uniformidad.*- Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- *Durabilidad.*- Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.
- *Ductilidad.*- La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- *Tenacidad.*- Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.
- Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.
- Rapidez de montaje.
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Posible reuso después de desmontar una estructura.

2.6.1.1.2 Desventajas.

- *Costo de mantenimiento.*- La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
- *Costo de la protección contra el fuego.*- Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.
- *Susceptibilidad al pandeo.*- Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.
- Este acero, cuando queda expuesto a los elementos ambientales, se oxida y se forma óxido de hierro polvoriento en su superficie. Si no se combate, la oxidación sigue adelante hasta que el acero esté completamente corroído.

2.6.2 ACEROS HSLA.¹⁷

El problema siempre actual en caso del acero como un material de construcción es la pregunta: ¿Cómo llegar a alta resistencia y buena deformabilidad al mismo tiempo? Aumentando los elementos de aleación especialmente de carbono, sube la resistencia mecánica del acero pero se pierden las propiedades plásticas del material.

En la década de los ochenta, la industria del automóvil se revolucionó con la aparición de los aceros HSLA (acrónimo de High Strength Low Alloy) que permitieron reducir el peso de las carrocerías en un 35%. Además, sus características mecánicas suponían un vuelco con respecto a los aceros al carbono convencionales: su límite

¹⁷ http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=2772&Itemid=30

elástico pasaba de 300 MPa (típico de los aceros hasta entonces empleados) a 550 MPa, mejorándose sustancialmente la resistencia al impacto y a la torsión¹⁸.

Antes para la carrocería de autos se aplicaba acero de bajo carbono sin elementos de aleación, lo que si cumplía con buena deformabilidad, pero tenía baja resistencia mecánica, factor que hacía que en esos casos los ingenieros tuvieran que aumentar el grosor de la lámina y consecuentemente el peso de la estructura.

En los últimos años se han elaborado varios tipos de aceros que conjuntan éstas propiedades de plasticidad y alta resistencia. Éstos son los aceros HSLA. Varias compañías automotrices, entre ellas Toyota, ya fabrican chasises en sus automóviles con 30% de más resistencia y disminución de peso (Figuras 2-2 y 2-3).

Los elementos que, en forma de microaleación, se emplean más para la fabricación de estos aceros son entre el 0,05 a 0,2 % C, 0,6 a 1,6 % Mn y los elementos formadores de carburo en contenido cercano al 0,1 % de Nb, V o Ti, aunque algunos otros elementos tales como Cu, Ni, Cr, y Mo pueden también estar presentes en pequeñas cantidades alrededor de 0,1 %.

Elementos tales como Al, B, y N también presentan un efecto importante sobre el comportamiento de los aceros microaleados, encontrándose su contenido en el orden de las milésimas¹⁷.

¹⁸ <http://digital.csic.es/bitstream/10261/3702/1/nuevos%20materiales%20metalicos.pdf>

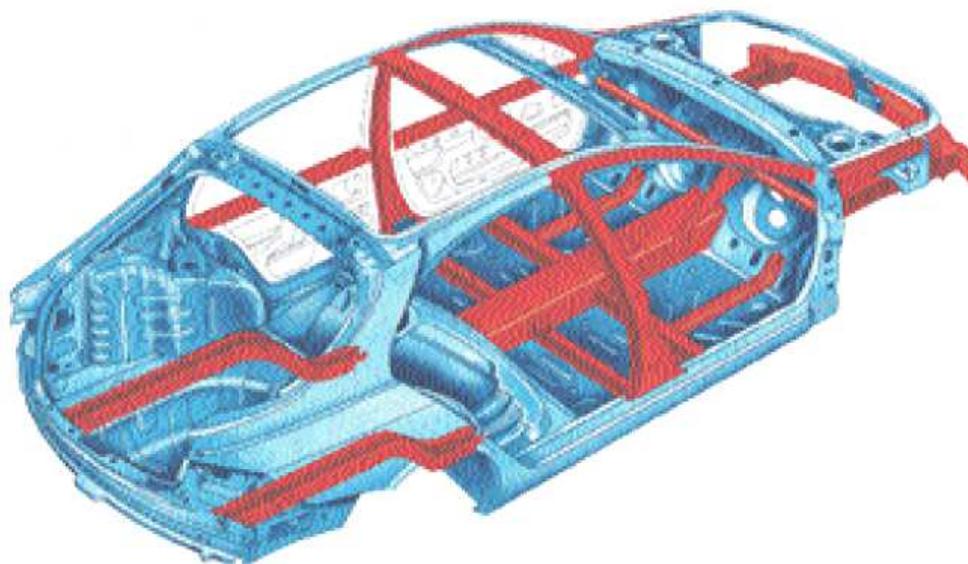


Figura 2-2. Carrocería con partes en rojo de acero HSLA. Renault Laguna 2¹⁹



Figura 2-3. Carrocería con partes en amarillo de acero HSLA. Volkswagen Beetle.²⁰

¹⁹ <http://www.cesvi.com.ar/revistas>.

²⁰ VW Programa autodidáctico número 211; El New Beetle; Diseño y funcionamiento.

El acero a través de la adición de microaleantes (manganeso, cromo y boro) y posteriores tratamientos térmicos dan como beneficio, valores de resistencia al choque y a la penetración estática (Figura 2-4).

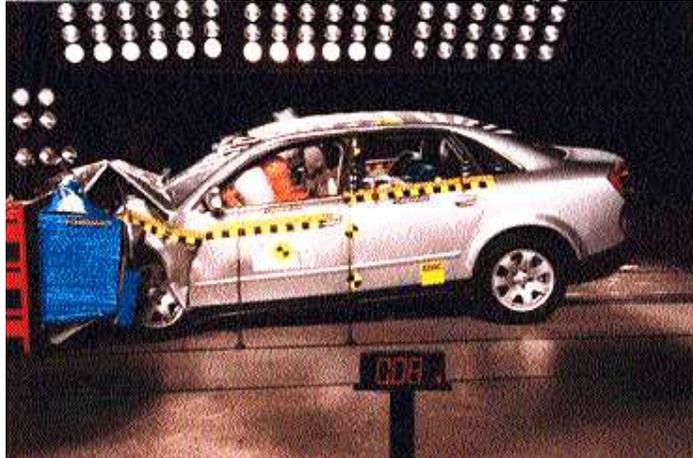


Figura 2-4. Prueba de choque. Audi A4.¹⁶

Estas características están íntimamente relacionadas con los valores que se logran en los ensayos de materiales, de resistencia a la rotura y límite elástico para cada espesor, y por ende a la deformación o poder de absorción de energía en un impacto.

Estos aceros de alta resistencia se caracterizan por poseer una elevada ductilidad, estructura de grano fino, bajo contenido en carbono y microaleantes, además de combinar unas excelentes propiedades funcionales tales como una buena conformabilidad, soldabilidad y buena aptitud al recubrimiento. El endurecimiento del material, obtenido gracias a su pureza interna controlada y estructura de grano fino, garantiza sus excelentes niveles de resistencia mecánica.

En varios países de Europa y Norteamérica, se emplean aceros HSLA en la fabricación de carrocerías de automóviles debido a las ventajas que presenta este tipo de acero las que se respaldan en minuciosos estudios y pruebas y que de la

mano de los grandes avances tecnológicos de la actualidad han llevado a la industria automotriz a la realización de certeras innovaciones en sus diseños.

Se puede observar en la figura 2-5 el esquema de un vehículo moderno como las partes de color amarillo representan los sitios donde los fabricantes han reforzado el chasis y la carrocería con aceros HSLA, microaleados y tratados con boro¹¹.



Figura 2-5. Refuerzos de Acero HSLA (partes de color amarillo).¹⁶

El HSLA se encuentra principalmente en toda la parte frontal y trasera del chasis, siendo su función principal absorber la energía del impacto de una colisión y evitar que esa energía sea transferida al compartimiento de los pasajeros y por lo tanto a los ocupantes del vehículo.

También incrementan la resistencia al desplazamiento del material. Por eso se encuentra en las partes de adelante y atrás que en el momento de un impacto y debido a su diseño, se arrugan absorbiendo así la energía¹¹ (Figura 2-6).



Figura 2-6. Acero HSLA en zona de deformación.¹⁶

Al tener estas zonas de absorción de impactos, incrementa en forma considerable la sobrevivencia de los ocupantes luego de un choque frontal. La finalidad es que el espacio dentro del vehículo permanezca lo más sólido posible después de un impacto frontal, como se observa en la figura 2-7 donde toda la energía del impacto en el vehículo de la izquierda ha sido absorbida por estas zonas y la cabina no ha sufrido mayores daños, mientras que un vehículo de otra marca a la misma velocidad, el impacto hace que el compartimiento del conductor se destruya casi completamente, disminuyendo la probabilidad de supervivencia de los ocupantes en los asientos delanteros¹⁶.



Figura 2-7. Comparación de cabinas luego de un impacto.¹⁶

Los aceros microaleados se encuentran principalmente en refuerzos del tablero, en las barras laterales contra impactos localizadas en las puertas del vehículo y en los refuerzos del techo¹⁸ (Figuras 2-8 y 2-9).



Figura 2-8. Refuerzo de acero microaleado en tablero y puertas (color amarillo).¹⁶



Figura 2-9. Refuerzo de acero microaleado en poste A del Volkswagen Beetle.¹⁶

2.6.2.1 Ventajas y desventajas de los aceros HSLA como material estructural.

2.6.2.1.1 Ventajas.

- En estos aceros se combinan propiedades de aptitud mejorada a la soldadura y buena conformabilidad. A estas cualidades se suman márgenes de variación muy reducidos de las propiedades mecánicas, lo que facilita su conformación

(en prensas o en líneas automatizadas). También alcanzan niveles muy satisfactorios de resistencia a la fatiga y al choque.

- Son especialmente adecuados para la fabricación de componentes estructurales que no requieran conformados muy severos (perfilado, plegado o embutición ligera): estructuras y refuerzos para la industria del automóvil, sistemas de almacenaje industrial, mobiliario, construcción mecánica, etc.
- Dado que sus elevados valores de resistencia permiten disminuir los espesores y por ende el peso de las piezas conformadas de este material, son notables las ventajas que se ven reflejadas en el peso del automóvil en comparación con los aceros convencionales.
- Estudios y ensayos metalográficos demuestran que los espesores pueden reducirse hasta la mitad para la obtención de igual valor de resistencia al choque entre un acero de súper alto límite elástico y un acero convencional utilizado en la fabricación de la carrocería.

2.6.2.1.2 Desventajas.

- En relación al acero convencional, el costo del acero HSLA es superior.
- El empleo de aceros HSLA en las carrocerías de vehículos ha creado inconvenientes para los grupos de rescate en el momento de realizar procedimientos de corte, separación o expansión para tratar de sacar los lesionados, ya que encuentran materiales muy duros de poder trabajar con sus herramientas hidráulicas.

2.6.3 ACERO INOXIDABLE.²¹

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno. Es un tipo de acero resistente a la corrosión.

Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura. Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de precipitación-endurecimiento (endurecimiento por precipitación). Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son, en general, los grupos más empleados en aplicaciones estructurales.

Nacidos del acero al carbono, los inoxidables (vitales en el actual desarrollo tecnológico) han dado paso a toda una generación de nuevos materiales conocidos como superaleaciones. De entre la gran variedad de superaleaciones, las de base níquel suponen el 35% de toda su producción. Estas aleaciones, de uso tanto en la industria aeroespacial como en la de generación de energía, poseen características mecánicas excepcionales a altas temperaturas.

Un ejemplo del uso de este acero en la construcción de carrocerías para buses, es el encontrado en la empresa finlandesa Volvo, donde el material básico de 9700 buses es el acero inoxidable. Estos buses empezaron a usar el acero inoxidable en la construcción de carrocerías en 1991 (Figura 2-10). El concepto de cooperación de acero inoxidable con la corporación Volvo Bus empezó en 1995. Esta construcción es escogida para dar al cliente las ventajas de una estructura con resistencia a la corrosión.

²¹ <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/4/55868-4.pdf>



Figura 2-10. Bus Volvo con carrocería de acero inoxidable.²¹

2.6.3.1 Ventajas y desventajas de los aceros inoxidables como material estructural.

2.6.3.1.1 Ventajas.

- Una carrocería de acero inoxidable mantiene su resistencia original durante toda la vida útil del bus.
- El bus mantiene su apariencia atractiva durante muchos años de operación.
- El costo de mantenimiento es bajo.
- La carrocería es fácil de reparar.
- La carrocería de acero inoxidable tiene un alto valor de segunda mano.
- El cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación.
- Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles características de inoxidables. Muchas aleaciones inoxidables contienen

además níquel para reforzar aún más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo “inoxidable en toda su masa”. Por este motivo, los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión.

- En el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar y desprenderse.
- Los aceros inoxidables ofrecen una adecuada relación resistencia mecánica - peso, propiedades higiénicas, resistencia a temperaturas elevadas y criogénicas y valor a largo plazo. Son totalmente reciclables y amigables con el medio ambiente.
- Los aceros inoxidables son ampliamente utilizados en varios sectores, desde la más sofisticada aplicación industrial hasta los utensilios domésticos. Contribuyen, de manera indirecta, a satisfacer las necesidades humanas básicas tales como alimentación, salud, construcción, medio ambiente, transporte y energía.

2.6.3.1.2 Desventajas.

- El costo de adquisición del acero inoxidable es muy alto en comparación con los aceros convencionales.
- Su limitada disponibilidad en el mercado nacional hace que su empleo en los procesos de fabricación sea también limitado.
- La tecnología ecuatoriana actual convierte al proceso de soldadura del acero inoxidable en un proceso bastante costoso debido a la sofisticación del equipo que se necesita para este propósito.

2.6.4 ALUMINIO.¹⁷

En poco más de ciento cincuenta años, el aluminio y sus aleaciones han pasado de ser desconocidas (en 1900 se consumían 8.000 kg de aluminio) a rodearnos en nuestra vida cotidiana (en 1999 el consumo mundial fue de 24 millones de toneladas), pudiendo considerarse como el gran competidor del acero para algunos usos estructurales.

No cabe duda de que su baja densidad (2,7 g/cm³ frente a los 7,8 g/cm³ del acero) hace que su aplicación en el transporte sea prioritaria. A esto hay que añadir su gran resistencia a la corrosión y sus increíbles propiedades mecánicas superiores, incluso, a las de muchos aceros.

En forma de placa o lámina se usa en la industria del transporte en carrocerías, tanques o escaleras; son ideales para la fabricación de carros de ferrocarril o de trenes urbanos y en general para aplicaciones estructurales.

El uso de aluminio en las partes que componen a autos y camiones ha aumentado en forma constante en la última década.

Dadas las excelentes características de este material y sus importantes ventajas en el uso automotriz, varias empresas de fama mundial lo han adoptado como su materia prima preferida para la fabricación de las carrocerías. Es así como la empresa Audi es la pionera dentro de la industria automotriz en utilizar este material tal como se observa en la figuras 2-11 y 2-12. El aluminio como opción en la construcción de piezas de la carrocería ha tomado un papel mucho más preponderante, y su aplicación en piezas móviles como el capot del Peugeot 307 y del Renault Laguna 2 dan clara idea de esto¹⁷.

El Audi A8 (Figura 2-11) es el primer vehículo con carrocería de aluminio, la estructura de la carrocería es de aluminio de alta resistencia, en la cual se integran

los paneles de forma que éstos también realicen una función de soporte de carga. Junto con la chapa de aluminio de alta resistencia, la carrocería de aluminio se caracteriza por su excepcional rigidez y protección contra choques, superior a la media, pero, al mismo tiempo, por su peso considerablemente menor. En comparación: un Audi A8 pesa 895 kilogramos, aproximadamente 150 Kg. menos que un modelo comparable con carrocería convencional de acero. Las ventajas que presenta para el conductor son: mayor seguridad, mejor rendimiento, mejor maniobrabilidad, menor consumo de combustible, facilidad de reparación¹⁶.



Figura 2-11. Carrocería de aluminio. Audi A8.²²

²² AUDI España; ASF Audi Space Frame

Audi Q5
Estructura
de la carrocería



Figura 2-12. Carrocería de aluminio. Audi Q5.²²

A continuación, se dan algunos ejemplos del uso de estas piezas en las carrocerías de los automóviles.

Tabla 2-3. Uso del aluminio en partes de vehículos.²³

Marca	Modelo	Piezas de aluminio
AUDI	A8, A2	Íntegramente
BMW	Serie 7	Íntegramente
RENAULT	Laguna	Capot
PEUGEOT	307	Capot
FERRARI	355	Capot
VOLVO	S60	Capot y portón
SUBARU	Forester	Capot

Todas estas incorporaciones han llevado a que los valores de entre un 7% y 9% en el cual se usaba este material, alcancen valores del 12% al 15% de su peso, sin considerar aquellos que poseen su carrocería fabricada íntegramente de aluminio.

²³ Nota Técnica; La Tecnología Automotriz Continúa Avanzando Día a Día.

Para citar otro ejemplo del empleo del aluminio en la industria carrocera, se tiene que en la ciudad de BEIJING empresa de aluminio líder a nivel mundial “Alcoa”, y Zhengzhou Yutong Bus Company (Yutong), principal fabricante de autobuses de China y segunda productora en el mundo, presentaron dos nuevos prototipos de autobuses ecológicos mostrados y probados durante los Juegos Olímpicos del Verano de 2008 desarrollados en Beijing (Figura 2-13).

Los nuevos autobuses con carrocería de aluminio son aproximadamente 46% más livianos que los autobuses tradicionales y, en consecuencia, requieren menos combustible y emiten una cantidad mucho menor de gases de efecto invernadero.

Estos autobuses cuentan con tecnología tridimensional de Alcoa (utilizada en ciertos automóviles como Ferrari 612 y todos los Ferrari Gran Turismo, y en el Audi A8, galardonado por la Comisión Europea y la Oficina Europea de Patentes con el Premio al Inventor Europeo del Año 2008 por el desarrollo del vehículo y el uso de aluminio liviano y resistente para la fabricación de vehículos más livianos, más seguros y con bajo consumo de combustible), ruedas de aluminio forjado, paneles laterales y techo de aluminio y sujetadores.

Los nuevos autobuses Yutong fueron sometidos a intensas pruebas en ruta. A tales fines, se utilizarán, por ejemplo, para el traslado durante los Juegos Olímpicos en Beijing y otras ciudades importantes de China. Estos autobuses pertenecen a una asociación dedicada a aplicar diseños estructurales, materiales y tecnologías de fabricación de primera clase al desarrollo de una nueva generación de autobuses ecológicos y eficaces en cuanto al ahorro de energía para el creciente número de usuarios del transporte público de China.

Un estudio realizado recientemente por el Instituto de Investigación de Energía y Medio Ambiente en Heidelberg, Alemania, que se expuso en la Conferencia sobre Aluminio y Transporte de China 2007 en Dalian, reveló que la reducción de 100 kg. en un autobús diesel urbano que realiza varias paradas, permitiría ahorrar 2550 litros

de combustible y reducir, de forma significativa, las emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes a CO₂ de por vida.²⁴



Figura 2-13. Bus con carrocería de aluminio fabricado por Zhengzhou Yutong Bus Company²⁴

2.6.4.1 Ventajas y desventajas del Aluminio como material estructural.

2.6.4.1.1 Ventajas.

- Los nuevos autobuses con carrocería de aluminio son aproximadamente 46 por ciento más livianos que los autobuses tradicionales y, en consecuencia, requieren menos combustible y emiten una cantidad mucho menor de gases de efecto invernadero.
- Los vehículos construidos con aluminio, requerirán menor fuerza o potencia para moverse.

²⁴ www.businesswire.com/bwapps/mediaserver/ViewM.

- Para el transporte, el aluminio es un elemento ideal gracias a que es ligero, fuerte y es fácil de moldear. El gasto inicial en energía es totalmente recuperable ya que el vehículo ahorrará mucha gasolina.
- La utilización de este metal reduce ruido y vibración.
- Gracias al aluminio, muchas partes de los vehículos son recicladas.
- El aluminio absorbe energía cinética lo cual evita, que en un accidente, la reciban los pasajeros.
- El aluminio no se oxida como el acero; esto significa que los vehículos, en zonas climatológicas de gran humedad tengan una vida más larga.
- Los autos con cuerpo de aluminio duran tres o cuatro veces más que los que tienen un chasis de acero.
- Los beneficios en una disminución del 40% en el peso contra una carrocería convencional de acero, la propiedad de autoprotgerse de la oxidación mediante la creación de una capa de óxido de aluminio y su alta rigidez, conjuntamente con una adecuada absorción de energía, hacen de él un material sumamente noble para la fabricación de un vehículo.

2.6.4.1.2 Desventajas.

- El costo de adquisición del aluminio es muy alto en comparación con los materiales convencionales.
- Su limitada disponibilidad en el mercado nacional hace que su empleo en los procesos de fabricación sea también limitado.
- La tecnología ecuatoriana actual convierte al proceso de soldadura del aluminio en un proceso bastante costoso debido a la sofisticación del equipo que se necesita para este propósito.

CAPÍTULO 3

PRESELECCIÓN DE MATERIALES

Por las cargas a las que está sometida una carrocería es necesario que el material estructural sea lo suficientemente resistente para que soporte los efectos de estas sobre la estructura del bus, es por esta razón que el presente proyecto tiene como objetivo final recomendar el uso de un material idóneo para los requerimientos que la sociedad actual y el desarrollo tecnológico exigen.

3.1 CARGAS APLICADAS A LA CARROCERÍA DE UN BUS.

Para el análisis de las cargas y esfuerzos que sufre la carrocería de un bus al trasladarse, se tomarán las condiciones de viaje de un bus interprovincial pero aplicadas al diseño de un bus tipo urbano debido a que serían estas las condiciones más críticas en las que tendría que trabajar un bus.

A continuación se describirán las cargas de diseño en forma general, puesto que el objetivo de este proyecto no es el diseñar una carrocería, sino demostrar las ventajas del empleo de nuevos materiales estructurales en la fabricación de estas.

Con motivo de respetar y acoger la normativa nacional existente, se emplearán las cargas que señala la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323: *Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos*. Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.

Para establecer las cargas consideradas en la NTE INEN 1323 se adoptaron las definiciones establecidas en las NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1 155 vigente, y las que a continuación se detallan:

- *Carga muerta (M).*
- *Carga viva (V).*
- *Carga de giro (G).*
- *Carga de frenado (F).*
- *Carga de aceleración brusca (Ab).*
- *Carga por Resistencia del Aire frontal (Raf).*

3.2 CARGAS ESTÁTICAS.

Son aquellas que soporta la estructura metálica de la carrocería de un bus y que por naturaleza de concepción aparecen, es decir, las correspondientes a su peso total y a la carga de las personas con sus respectivos equipajes. Por lo tanto, con un diseño adecuado de la estructura, esta soporta sin problemas las cargas estáticas, las cuales son:

3.2.1 CARGA MUERTA (M).

Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes (ventanas, asientos, forros exteriores e interiores y accesorios); es decir, la carrocería terminada (Figura 3-1).



Figura 3-1. Ilustración de carrocería terminada.²⁵

²⁵ <http://www.taringa.net/posts/2342726/Buses.html>

3.2.2 CARGA VIVA (V).

Corresponde a la carga por ocupación (personas con sus respectivos equipajes) y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería (Figura 3-2).



Figura 3-2. Carrocería soportando exceso de carga viva.²⁵

3.3 CARGAS DINÁMICAS.

Cuando una carga se aplica en un período relativamente corto recibe el nombre de “carga dinámica”. Las cargas dinámicas se distinguen de las estáticas por el hecho de originar modificaciones tanto en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones a que dan lugar, afectando también la forma y límite de rotura de los materiales.

Cuando un bus está en movimiento, la carrocería de éste está sometida a las siguientes cargas dinámicas:

3.3.1 CARGA DE GIRO (G).

El automóvil, al describir una trayectoria curvilínea, se ve sometido a la fuerza centrífuga, como si se pusiera a girar en redondo sobre una circunferencia cuyo centro coincide con el centro geométrico de la curva de la carretera. Aunque no realice un giro de 360°, por pequeña que sea la longitud del trazado en curva de la carretera, aparece la fuerza centrífuga (Figura 3-3).²⁶

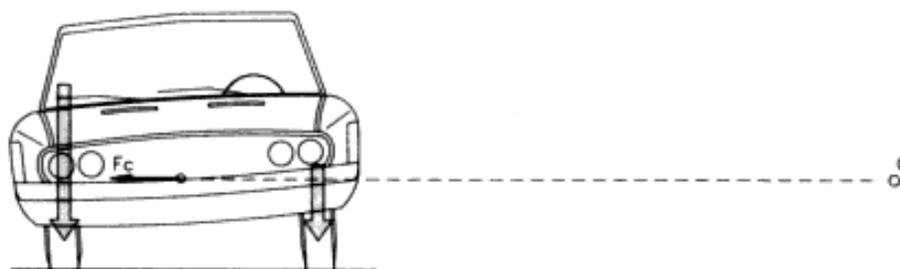


Figura 3-3. Efectos de la fuerza centrífuga.²⁶

La fuerza centrífuga se manifiesta aplicada al centro de gravedad del automóvil y su dirección es la del radio de la curva tirando del vehículo hacia el exterior de esta.

3.3.2 CARGA DE FRENADO (F)

Cuando actúan los frenos de un vehículo, las fuerzas de inercia que lo impulsan a seguir su movimiento están aplicadas al centro de gravedad del vehículo; como el centro de gravedad está situado, inevitablemente, a una cierta altura del suelo, crea un par de fuerzas que tiende a hacer girar a todo el vehículo sobre el eje delantero como si quisiera efectuar un salto mortal hacia adelante (Figura 3-4). Este efecto dinámico de las fuerzas de inercia sobre el vehículo se denomina *transferencia de carga*.²⁶

²⁶ Martí Parera Albert; Limitaciones del Conductor y del Vehículo; Boixareu Editores; Primera Edición; 1992

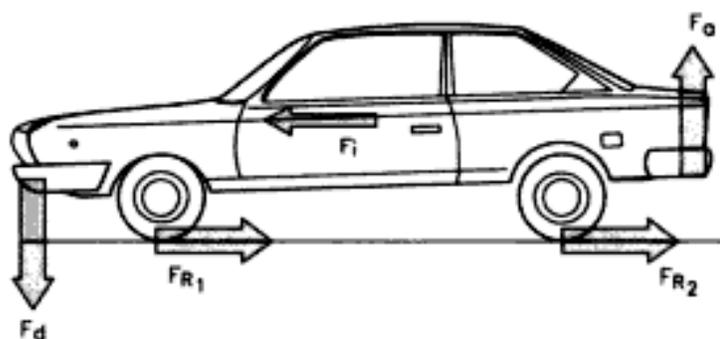


Figura 3-4. La fuerza de inercia aplicada en el centro de gravedad en el instante del frenado.²⁶

Aplicado al caso de un autobús, la transferencia de carga o de peso provoca en la carrocería del autobús una torsión en toda su línea longitudinal, tal como sucede en un vehículo (Figura 3-5).

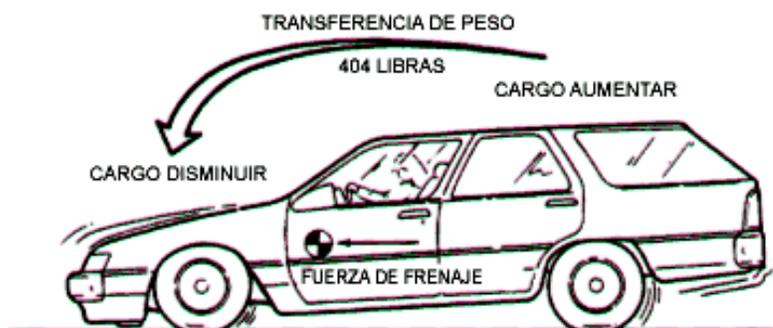


Figura 3-5. Vehículo sometido a un frenado brusco.²⁶

3.3.3 CARGA DE ACELERACIÓN BRUSCA (A_B)

La carga de aceleración brusca siempre se considera mucho menor en comparación a la carga de frenado brusco, puesto que por ejemplo: si se quiere acelerar de 0 a 90 km/h conlleva un largo tiempo para autobuses incluso si se necesitara acelerar de urgencia; pero si se viaja a 90 km/h y por causa de emergencia o accidente se necesita frenar el autobús donde están en juego vidas humanas, se tiene pocos segundos para hacerlo, lo que implica tener mayores cargas en esta instancia.²⁶

Por tal razón si una carrocería está correctamente diseñada para resistir las cargas de frenado brusco, entonces deberá resistir las cargas de aceleración brusca.

Según la norma NTE INEN 1323, esta carga se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

3.3.4 CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL (R_{AF})

Son las fuerzas que el viento ejerce sobre la estructura del vehículo en desplazamiento (Figura 3-6).



Figura 3-6. Ilustración de vehículos sometidos a cargas de viento.^{27,20}

Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal (Figura 3-7).

²⁷ Peña Francisco J. Alfonso; Importancia de la Aerodinámica en el Diseño de Carrocerías; Marzo; 2007.

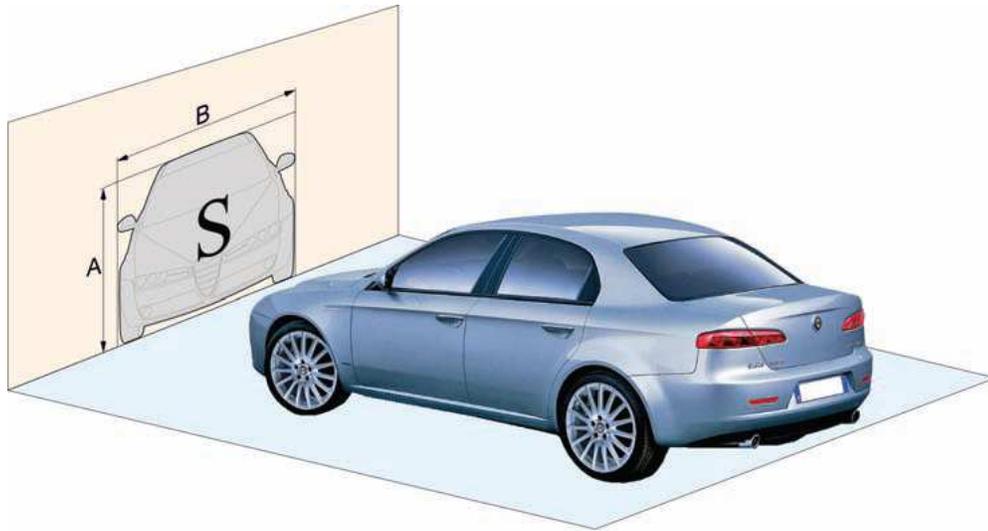


Figura 3-7. Proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal.²⁷

3.4 PRESELECCIÓN

Es necesario realizar una preselección de materiales extrayendo materiales de los diferentes grupos que, de acuerdo a investigaciones realizadas, se conoce que son empleados en la fabricación de estructuras de carrocerías de vehículos; estos grupos son:

- Acero al Carbono
- HSLA (High Strength Low Alloy)
- Aluminio
- Acero Inoxidable.

3.4.1 CRITERIOS DE PRESELECCIÓN

Es necesario también establecer ciertos criterios de preselección en base a los cuales se escogerá el material de cada grupo que mejores condiciones presente.

Estos criterios han sido elegidos tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales opera la carrocería de un bus y los esfuerzos a los que se ve sometida, es decir, se emplearán aquellas propiedades de los materiales que representen las resistencias que la estructura ofrecerá bajo circunstancias críticas de absorción de energía, los criterios son:

- Esfuerzo de Fluencia.
- Resistencia a la Tracción.
- Elongación.
- Energía Relativa.

3.4.1.1 Esfuerzo a la Fluencia.

El esfuerzo a la fluencia es el valor mínimo de esfuerzo para el cual el elemento comienza a deformarse plásticamente. Los materiales, en especial los más dúctiles, cuando comienzan a cargarse se van deformando linealmente proporcional con la carga, pero llega un punto en el cual esta deformación aumenta más y de manera no lineal con pocos aumentos de carga. La primera condición se llama rango elástico y la segunda rango plástico. En el rango elástico si se deja de aplicar la carga, el elemento se restituye a su forma original, mientras que una vez superado el límite de fluencia, si se retira la carga, el elemento conserva la deformación alcanzada. El punto que define el paso del rango elástico hacia el rango plástico es el límite de fluencia (Figura 3-8). Los valores de esfuerzos a la fluencia para los diferentes materiales se tomarán de sus respectivas normas ASTM.

3.4.1.2 Resistencia a la Tracción.

La resistencia máxima a la tensión es la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión – deformación. Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión decrecerá

al aumentar la deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra. Mientras más dúctil sea el metal, mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión-deformación después de la tensión máxima (Figura 3-8).

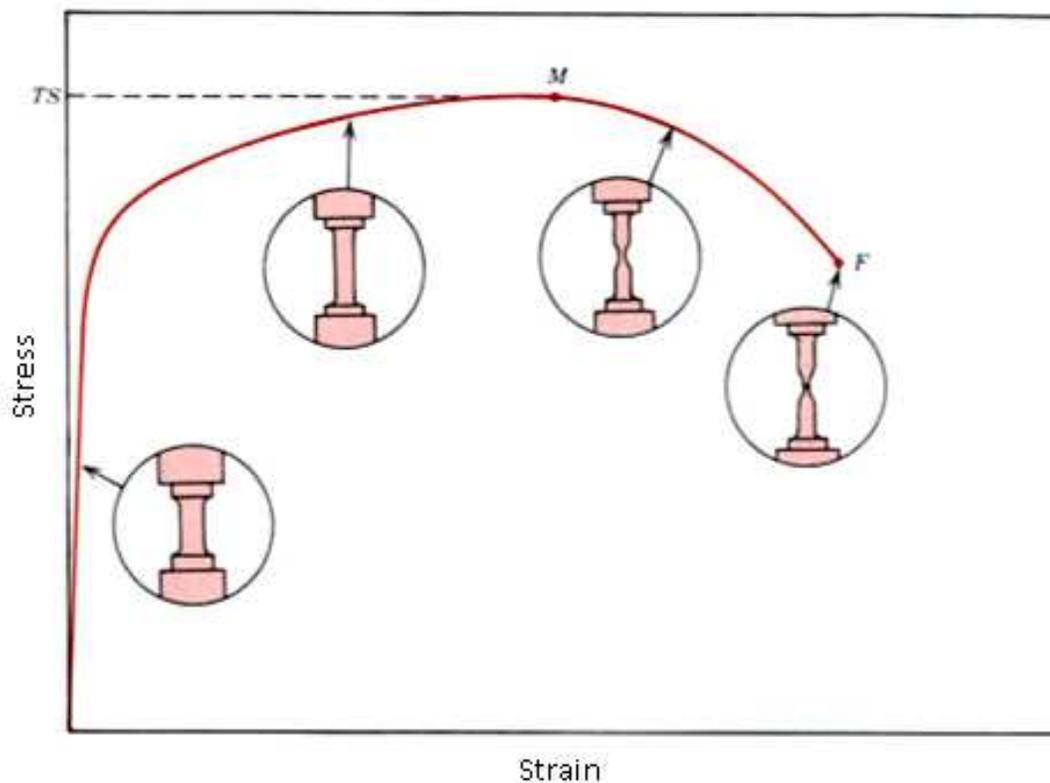


Figura 3-8. Curva esfuerzo-deformación. Ilustración del ensayo de tracción.²⁸

Los valores de resistencia a la tracción para los diferentes materiales se tomarán de sus respectivas normas ASTM.

3.4.1.3 Elongación.

Es la medida de la ductilidad de un material determinada en un ensayo de tracción. Es el incremento de la longitud en la distancia calibrada (medida después de la

²⁸ <http://www.unalmed.edu.co/-cpgarcia/mecanicas.pdf>

ruptura) dividido por la longitud original de la distancia calibrada. Una elongación mayor indica una mayor ductilidad. La elongación no se puede utilizar para predecir el comportamiento de los materiales sometidos a cargas repentinas o repetidas.

Los valores de elongación para los diferentes materiales se tomarán de sus respectivas normas ASTM y en relación a una longitud inicial de 2 pulgadas.

3.4.1.4 Energía relativa.

La tenacidad de un material es la habilidad para absorber energía durante la deformación plástica, es la capacidad para soportar esfuerzos ocasionales superiores al esfuerzo de fluencia, sin que se produzca la fractura.

Las formas de concretar el concepto es calcular el área bajo la curva de esfuerzo vs deformación, o mediante ensayos de impacto. La tenacidad es un parámetro que involucra la resistencia mecánica y la ductilidad.

Dado que la idea es comparar las propiedades de los materiales de una forma cuantitativa y sabiendo que la tenacidad es un parámetro difícil de obtener, se realizará un cálculo aproximado del área bajo la curva esfuerzo vs deformación real (Figura 3-9) para obtener el criterio de “energía relativa”, la cual es un *valor relativo* dado que se emplea la curva *esfuerzo-deformación real* como si fueran líneas rectas y se asume que las áreas comprendidas entre estas líneas son figuras geométricas regulares.

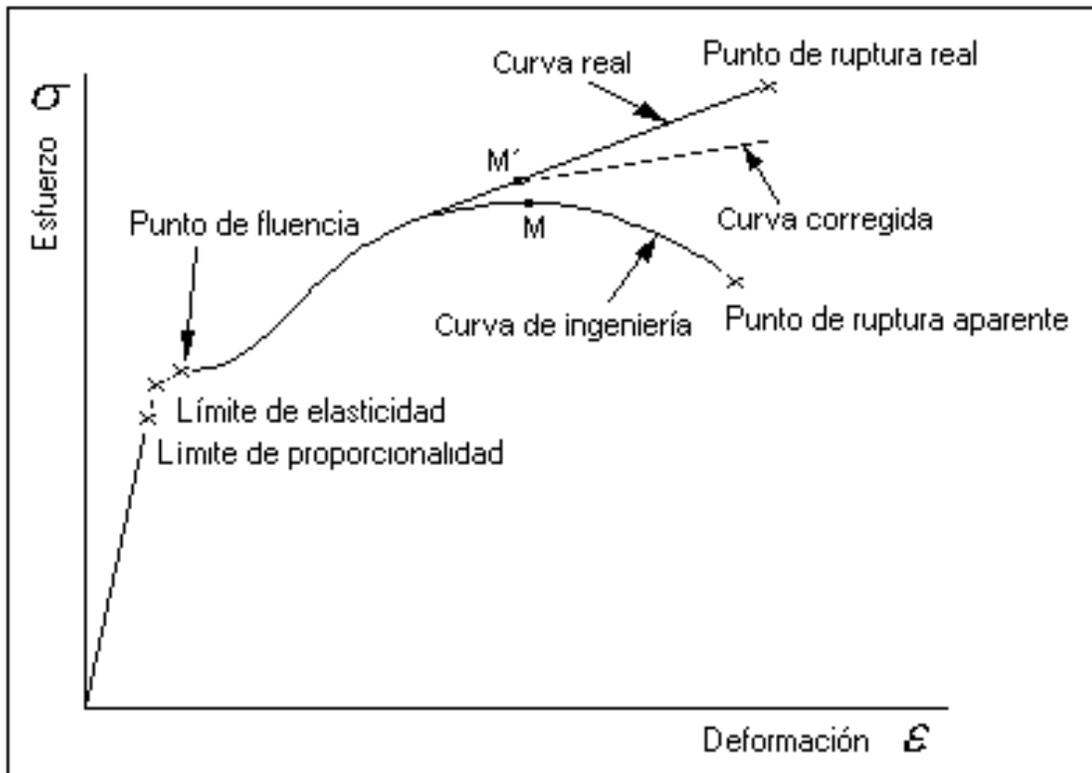


Figura 3-9. Comparación entre curvas esfuerzo-deformación de ingeniería y esfuerzo-deformación real.²⁹

3.4.2 METODO DE PRESELECCIÓN.

El método utilizado para la preselección es el de matriz de priorización, en el que se emplearán criterios y ponderaciones de acuerdo a los valores cuantitativos de las propiedades de cada material.

Para la comprensión del método de la matriz de priorización se realizará un ejemplo de cálculo y determinación de la alternativa adecuada pues éste método será utilizado de aquí en adelante.

²⁹ Fortune City; Comportamiento de los Materiales Bajo Carga

3.4.3 PRESELECCIÓN DEL ACERO AL CARBONO.

De acuerdo a las encuestas realizadas y cuyos resultados se dieron a conocer en el capítulo I, el acero **ASTM A 36** es el más utilizado a nivel nacional para la construcción de carrocerías de buses; por lo que es de trascendental importancia tomar a este material como representante del grupo de aceros al carbono y así comparar las ventajas y desventajas de su uso.

3.4.4 PRESELECCIÓN DEL ACERO HSLA.

De acuerdo a investigaciones realizadas, la aplicación que tiene el material según la norma y en base a encuestas efectuadas a las empresas carroceras, las opciones del grupo de aceros HSLA son las siguientes:

1. ASTM A 242 Gr 4-5.
2. ASTM A 500 Gr C.
3. ASTM A 514 Gr B.
4. ASTM A 572 Gr 50 1.
5. ASTM A 588.

3.4.4.1 Ejemplo de aplicación del método de matriz de priorización para la preselección del acero HSLA.

El método de matriz de priorización permite calificar cuantitativamente los criterios de cada material y ponderarlos de acuerdo al tipo de aplicación para la cual se esté llevando a cabo el proceso de selección, que en este caso es el estudio de materiales estructurales para la construcción de carrocerías para buses.

Para seleccionar una alternativa (material) mediante el método de la matriz de priorización, se parte de los datos reales correspondientes a los criterios de cada alternativa, sean estas propiedades mecánicas, costos, valoraciones cualitativas,

etc., que han sido extraídos de normas o a partir de investigaciones acerca de las características del material, sin preocuparse de las unidades de estos.

Una vez llenada la tabla con los datos correctamente obtenidos, se debe realizar la sumatoria total de cada columna y de esta manera completar la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 3-1. Propiedades mecánicas de las alternativas de los aceros HSLA.³⁰

ACERO ASTM	CRITERIOS			
	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)
A 242 Gr 4-5	42000	63000	21	22005,90
A 500 Gr C	46000	62000	23	24792,57
A 514 Gr B	100000	110000	18	37616,85
A 517	100000	115000	16	34208,53
A 572 Gr 50 1	50000	65000	21	24096,05
A 588	50000	70000	21	25141,90
SUMATORIA	388000	485000	120	167861,80

Por la aplicación de este estudio, para la tabla 3-1 la escala de calificación se establece considerando que el mayor valor de cada criterio corresponde al puntaje más alto (10). Para que el proceso de selección sea totalmente certero, a los datos restantes de la columna se los debe comparar cada uno respecto al dato que alcanzó el puntaje de 10, por ejemplo:

- En la columna 1 (Criterio de Punto de Fluencia) el valor de 100000 psi correspondientes a los aceros ASTM A514 Gr. B y ASTM A517, tienen una

³⁰ American Society for Testing and Materials; Normas ASTM

calificación de 10/10 puntos (debido a que es el valor más alto). Y mediante una regla de tres se obtienen los otros valores de esa columna, o sea:

Si 100000 psi corresponden a una valoración de 10, entonces 42000 psi corresponden a una valoración de 4.2; así:

$$\frac{42000*10}{100000}=4.2; \quad \frac{46000*10}{100000}=4.6$$

- En la columna 2 (Criterio de Resistencia a la Tracción) el valor de 115000 psi correspondiente al acero ASTM A517, tienen una calificación de 10/10 puntos. Y mediante la regla de tres se obtienen los otros valores de esa columna, o sea:

$$\frac{63000*10}{115000}=5.4; \quad \frac{62000*10}{115000}=5.3$$

Estos cálculos se los realiza en cada columna para poder obtener nuevamente las sumatorias totales de estas.

En la tabla resultante que se muestra a continuación, consta también la ponderación de criterios, que es la calificación de cada criterio impuesta por el seleccionador, el cual debe tener la capacidad de relacionar y cuantificar cada criterio acorde con la aplicación que necesite. La sumatoria de esta ponderación debe estar relacionada con el 100%. Es así que la criterio correspondiente a Energía Relativa (IV), recibe una ponderación del 55 % y de esta manera se ponderan los criterios restantes.

Tabla 3-2. Criterios para la preselección del acero HSLA.¹⁰

	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
ACERO ASTM	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)		
A 242 Gr 4-5	4,2	5,4	9,1	5,8	10	I
A 500 Gr C	4,6	5,3	10	6,5	15	II
A 514 Gr B	10	9,5	7,8	10,0	20	III
A 517	10	10	6,9	9,0	55	IV
A 572 Gr 50 1	5	5,6	9,1	6,4		
A 588	5	6	9,1	6,6		
SUMATORIA	38,8	41,8	52	44,3	100	

Luego se procede a normalizar la tabla, es decir, llevar los valores de la sumatoria a valores unitarios, para lo cual se debe relacionar cada valor de la columna con la sumatoria total a través de dividir cada sumando para la sumatoria de estos en cada columna. Por ejemplo:

En la columna 1 (Criterio de Punto de Fluencia) para la alternativa 1 (acero ASTM A 242 Gr. 4-5) el valor sería:

$$\frac{4.2}{38.8} = 0.108$$

En la columna 1 (Criterio de Punto de Fluencia) para la alternativa 2 (acero ASTM A 500 Gr. C) el valor sería:

$$\frac{4.6}{38.8} = 0.118$$

Si se continúa con estos cálculos, incluida la ponderación de criterios, se obtiene la siguiente tabla normalizada.

Tabla 3-3. Normalización de la tabla para la preselección del acero HSLA. ¹⁰

	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
ACERO ASTM	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)		
A 242 Gr 4-5	0,108	0,129	0,175	0,130	0,1	I
A 500 Gr C	0,118	0,126	0,192	0,146	0,15	II
A 514 Gr B	0,257	0,227	0,150	0,225	0,2	III
A 517	0,257	0,239	0,132	0,203	0,55	IV
A 572 Gr 50 1	0,128	0,133	0,175	0,144		
A 588	0,128	0,143	0,175	0,148		
SUMATORIA	1	1	1	1	1	

La constatación de que la tabla 3-3 está normalizada es que la sumatoria de cada columna es igual a 1, lo que indica que cada columna tiene igual relación entre sí.

Finalmente, para obtener la mejor alternativa (material) se realiza una multiplicación de matrices en la tabla normalizada 3-3, al ser las alternativas junto con los criterios una matriz $M1_{(6 \times 4)}$ y la ponderación de criterios una matriz $M2_{(4 \times 1)}$ se pueden multiplicar cada una de las filas de la $M1$ con la columna de la $M2$ de esta manera:

Fila 1 (matriz de criterios) acero A 242 x Columna 1 (matriz de ponderación de criterios) y se logra la puntuación de este material.

$$(0.108 \times 0.1) + (0.129 \times 0.15) + (0.175 \times 0.2) + (0.130 \times 0.55) = 0.13$$

Fila 2 (matriz de criterios) acero A 500 x Columna 1 (matriz de ponderación de criterios) y se logra la puntuación de este material (0.15).

Al realizar sucesivamente todas las operaciones en la tabla 3-3, el material ganador de esta selección es el que presente mayor puntaje.

Tabla 3-4. Resultados de la preselección del acero HSLA. ¹⁰

A 242 Gr 4-5	0,13
A 500 Gr C	0,15
A 514 Gr B	0,21
A 517	0,19
A 572 Gr 50 1	0,14
A 588	0,15

Por lo tanto y, debido a que alcanzó el mayor puntaje final, el acero representante del grupo HSLA es el **ASTM A-514 Gr. B.**

3.4.5 PRESELECCIÓN DEL ALUMINIO.

De acuerdo a investigaciones realizadas y analizando el tipo de aplicación que cada una de las siguientes aleaciones de aluminio presenta, se les considera como opciones dentro del grupo del aluminio para ser empleadas en aplicaciones estructurales de tipo automotriz:

1. Aluminio 4043-H18
2. Aluminio 5356
3. Aluminio 5554
4. Aluminio 6061-T6
5. Aluminio 6082-T6

Tabla 3-5. Propiedades mecánicas de las alternativas del aluminio.³¹

ALEACIÓN DE ALUMINIO	CRITERIOS			
	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)
4043 - H18	39200	41300	0,5	321,55
5554	17000	36000	12	2683,41
6061 - T6	40000	45000	12	10110,00
6082 - T6	36300	42100	10	7763,59
SUMATORIA	132500	164400	34,5	20878,55

Tabla 3-6. Criterios para la preselección del aluminio.¹⁰

ALUMINIO AAI	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)		
4043 - H18	9,8	9,1	0,4	0,3	10	I
5554	4,2	8	10	2,6	15	II
6061 - T6	10	10	10	10	20	III
6082 - T6	9	9,3	8,3	7,6	55	IV
SUMATORIA	33	36,4	28,7	20,50	100	

La escala de calificación se establece considerando que el mayor valor de cada criterio corresponde al puntaje más alto (10) y relacionando este valor y puntaje con los pertenecientes a los otros materiales se obtienen las respectivas calificaciones.

³¹ <http://www.luminum.com/es/data>

Tabla 3-7. Normalización de la tabla para la preselección del acero HSLA. ¹⁰

	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
ALUMINIO AAI	Punto de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación en 2" (%)	Energía Relativa (plg²)		
4043 - H18	0,296	0,250	0,013	0,014	0,1	I
5554	0,127	0,219	0,348	0,126	0,15	II
6061 - T6	0,303	0,274	0,348	0,487	0,2	III
6082 - T6	0,272	0,255	0,289	0,370	0,55	IV
SUMATORIA	1	1	1	1	1	

Tabla 3-8. Resultados de la preselección del aluminio. ¹⁰

4043 - H18	0,07
5554	0,18
6061 - T6	0,40
6082 - T6	0,32

Por consiguiente, la aleación que representará al grupo del aluminio es la **6061-T6**.

3.4.6 PRESELECCIÓN DEL ACERO INOXIDABLE.

De acuerdo a la investigación titulada **Ultralight Stainless Steel Urban Bus Concept** realizada por **J. Bruce Emmons and Leonard J. Blessing** para **Autokinetics Inc., Government/Industry Meeting Washington, D.C.; Mayo 14-16,**

2001³² (Ver anexo C), el material estructural empleado en la elaboración de un nuevo concepto de bus es el acero inoxidable NITRONIC 30 que corresponde a la norma ASTM A240, fabricado por la empresa acerera estadounidense AK STEEL (Ver anexo D). Las propiedades de este acero se detallan a continuación:

Tabla 3-9. Propiedades del acero inoxidable NITRONIC 30 (ASTM A-240)³³

<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>Punto de Fluencia (psi)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (psi)</i>	<i>Elongación en 2" (%)</i>	<i>Energía Relativa (plg²)</i>
NITRONIC 30	48000	95000	35	49966.454

³² EMMONS BRUCE, BLESSING LEONARD; Ultralight Stainless Steel Urban Bus Concept; SAE Technical Paper Series; Washington D.C.; Mayo; 2001.

³³ AK Steel Corporation; Nitronic 30 Stainless Steel Data Sheet; USA; 2000

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL

Una vez realizada la preselección de los materiales de cada grupo para el tipo de aplicación requerido en el presente proyecto, es necesario seleccionar un material definitivo que sea idóneo en la construcción de carrocerías para buses y que se acople de la mejor manera a la realidad de la industria carrocera de nuestro país.

4.1.1 ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN FINAL.

4.1.1.1 Acero ASTM A-36

4.1.1.1.1 *Propiedades mecánicas.*

Esfuerzo de Fluencia = 36000 psi.

Resistencia a la Tracción = 58000 psi.

Elongación en 2 plgs. = 20 %.

4.1.1.1.2 *Composición química.*

Tabla 4-1. Composición química del acero ASTM A36.³²

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Carbono (C)	0.26 máx.
Fósforo (P)	0.040 máx.
Azufre (S)	0.05 máx.
Silicio (Si)	0.40 máx.

4.1.1.1.3 Aplicaciones.

Construcción de estructuras metálicas remachadas, atornilladas o soldadas por ejemplo: puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones. En el Ecuador es el acero más empleado en la construcción de carrocerías para buses.

4.1.1.2 Acero ASTM A-514 Gr. B.

4.1.1.2.1 Propiedades mecánicas.

Esfuerzo de Fluencia = 100000 psi.

Resistencia a la Tracción = 110000 psi.

Elongación en 2 plgs. = 18 %.

4.1.1.2.2 Composición química.

El grado B permite diferenciar al acero ASTM A514 por su composición química.

Tabla 4-2. Composición química del acero ASTM A514 Gr. B. ³²

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Carbono (C)	0.17
Manganeso (Mn)	0.86
Fósforo (P)	0.022
Azufre (S)	0.004
Silicio (Si)	0.28
Níquel (Ni)	0.02
Cromo (Cr)	0.53
Molibdeno (Mo)	0.21
Aluminio (Al)	0.035
Vanadio (V)	0.041
Niobio (Nb)	0.0003
Boro (B)	0.002
Titanio (Ti)	0.022
Nitrógeno (N)	0.007

4.1.1.2.3 Aplicaciones.

Pisos de ómnibus, escaleras, embarcaciones navales, pasadizos de plantas industriales, etc.

Elementos de equipos de movimientos de tierra, minerales, tolvas de volquete, palas mecánicas. En la fabricación de tanques, silos, puentes, estructuras navales, equipos mineros, celdas de flotación. Tolvas de volquetes, palas mecánicas, carritos mineros, elementos de máquinas trituradoras, etc. En toda construcción soldada que requiere alta resistencia. En la fabricación de vigas, puentes, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, etc.

4.1.1.3 Nitronic 30

4.1.1.3.1 Propiedades mecánicas.

Esfuerzo de Fluencia = 48000 psi.

Resistencia a la Tracción = 95000 psi.

Elongación en 2 plgs. = 35 %.

4.1.1.3.2 Composición química.

Tabla 4-3. Composición química del Nitronic 30.³²

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Carbono (C)	0.03 máx.
Manganeso (Mn)	7.9 – 9.0
Fósforo (P)	0.040 máx.
Azufre (S)	0.030 máx.
Silicio (Si)	1.00 máx.
Cromo (Cr)	15.0 – 17.0
Níquel (Ni)	1.5 – 3.0
Nitrógeno (N)	0.15 – 0.30
Cobre (Cu)	1.00 máx.

4.1.1.3.3 Aplicaciones.

Los potenciales usos específicos incluyen abrazaderas de manguera de automotor, anclas de cinturón de seguridad, camión y marcos de autobús, abastecimiento de agua, estructuras de planta de tratamiento de aguas residuales, alimentos sólidos, cubos de carbón y tolva de coches.

Los aceros inoxidable han servido satisfactoriamente en muchos componentes estructurales en la industria de transporte. Marcos especiales de autobús y parachoques, aprovechan excelente maquinabilidad, la alta fuerza y la dureza del acero inoxidable.

4.1.1.4 Aluminio 6061-T6.

4.1.1.4.1 Propiedades mecánicas.

Esfuerzo de Fluencia = 40000 psi.

Resistencia a la Tracción = 45000 psi.

Elongación en 2 plgs. = 12 %.

T6 - tratado térmicamente y envejecido artificialmente.

Envejecido natural: se deja enfriar naturalmente a la temperatura del medio.

Envejecido artificialmente: se controla el flujo de calor del material al medio, controlando la temperatura infinita para lograr el objetivo. En este tipo de estructuras, se usan flujos de calor bajos, es decir, "enfriamientos" largos y paulatinos. En piezas macizas como tornillos y otros se usan "enfriamientos" súbitos para crear una zona tensil en la superficie que es bastante "dura".

Sobreenvejecido: Es algo parecido al envejecido, pero con más condiciones bajo control.

4.1.1.4.2 Composición química.

Tabla 4-4. Composición química del Aluminio 6061-T6. ³²

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Silicio (Si)	0.40 – 0.80
Hierro (Fe)	0.7
Cobre (Cu)	0.15 – 0.40
Magnesio (Mg)	0.8 – 1.2
Cromo (Cr)	0.04 – 0.35
Zinc (Zn)	0.25 máx.
Titanio (Ti)	0.015 máx.

4.1.1.4.3 Aplicaciones.

El rango de aplicación va desde componentes para el transporte, componentes de máquinas y equipos, productos para la recreación, etc.

Por ser muy resistente a la corrosión atmosférica y poseer una buena resistencia a la corrosión del agua de mar es también aplicable en la fabricación de elementos náuticos. También ofrece una buena terminación superficial.

4.1.2 MÉTODO DE SELECCIÓN.

Al igual que en la preselección, el método utilizado para la selección es el de la *matriz de priorización*, en el que se emplearán criterios y ponderaciones de acuerdo a los valores cuantitativos de las propiedades de cada material.

4.1.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN.

Es necesario establecer los criterios de selección en base a los cuales se escogerá el material que mejores condiciones presente para la construcción de carrocerías para buses y que esté acorde a la realidad del país.

Al igual que en la preselección, los criterios han sido elegidos tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales opera la carrocería de un bus y los esfuerzos a los que se ve sometida, es decir, se emplearán aquellas propiedades de los materiales que representen las resistencias que la estructura ofrecerá bajo circunstancias críticas de absorción de energía.

Los criterios de selección son:

- Energía relativa.
- Densidad.
- Soldadura.
- Esfuerzo de fluencia

4.1.3.1 Energía relativa.

Como se explicó en la preselección, la tenacidad es un factor preponderante en un proceso de selección de materiales para aplicaciones estructurales, debido a que representa la mucha o poca capacidad que un material posee para absorber energía de deformación, lo cual para este caso es primordial ya que la estructura de la carrocería está sometida constantemente a esfuerzos que, en caso de accidentes, pueden alcanzar valores tan altos que es necesario un material lo suficientemente tenaz para absorber toda la energía producida y evitar que los ocupantes sean quienes la absorban.

4.1.3.2 Densidad.

La densidad se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

Aunque toda la materia posee masa y volumen, la misma masa de sustancias diferentes ocupa distintos volúmenes, así notamos que el hierro o el hormigón son pesados, mientras que la misma cantidad de goma de borrar o plástico son ligeras.

La propiedad que permite medir si una sustancia es ligera o pesada, recibe el nombre de densidad. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado será.

Este parámetro es de suma importancia dentro del presente estudio ya que el criterio de densidad está directamente relacionado con el peso del material. Construir una carrocería más liviana es una tarea primordial en la actualidad debido a que la industria automotriz busca disminuir el peso del vehículo lo cual se refleja en menor consumo de combustible y, por lo tanto, menor contaminación.

4.1.3.3 Soldadura.

Si bien en los procesos de fabricación de estructuras metálicas una de las formas de unir las piezas es a través del proceso de soldadura, en la construcción de carrocerías para buses es el proceso único y esencial. Por esta razón se ha escogido este parámetro para seleccionar al material adecuado.

Este criterio es muy amplio como para dar una explicación simplificada del mismo ya que contiene “subcriterios” que en conjunto lo definen. Es así que a continuación se detallarán cada uno de estos.

- Costo de la máquina para el proceso a utilizar.
- Costo del electrodo.
- Mano de obra requerida.
- Soldabilidad del material.

4.1.3.3.1 Costo de la máquina para el proceso a utilizar.

Se han seleccionado los diferentes procesos de soldadura a utilizar para cada material en base a las encuestas realizadas en el capítulo 1 y a las recomendaciones dadas por fabricantes de estos materiales (Tabla 4-5).

4.1.3.3.2 Costo del electrodo.

Se han seleccionado los diferentes electrodos a utilizar para cada material en base a las encuestas realizadas en el capítulo 1 y a las recomendaciones dadas por fabricantes de estos materiales (Tabla 4-5).

4.1.3.3.3 Mano de obra requerida.

Para evaluar este parámetro, se tomará en cuenta la complejidad que implica desarrollar los procesos MIG y TIG con soldadores calificados, basándose en criterios docentes (Tabla 4-5).

4.1.3.3.4 Soldabilidad del material.

Este parámetro se obtendrá de las propiedades de cada material proporcionadas por investigaciones previas realizadas por cada fabricante (Tabla 4-5).

4.1.3.3.5 Priorización del criterio de soldadura.

Tabla 4-5. Características de soldadura de cada material.³⁴

MATERIAL	CRITERIOS			
	Costo de la máquina (Usd)	Costo de electrodo (Usd/kg.)	Costo mano de obra (Usd/día)	Soldabilidad
ASTM A36	6557,6	2,8	50	MUY BUENA
ASTM A514 Gr. B	6557,6	30,25	50	BUENA
NITRONIC 30	5152	22,36	80	REDUCIDA
ALUMINIO 6061-T6	5152	21,98	80	REDUCIDA
SUMATORIA	23419,2	77,39	260	

Haciendo referencia a las encuestas presentadas en el capítulo I acerca del perfil que las empresas utilizan para la construcción de las carrocerías, se tiene que el espesor del tubo cuadrado es de 2 mm y en base a estas características se realiza el análisis cualitativo y cuantitativo de los materiales

Al no ser este un estudio de soldabilidad, en este proyecto se realiza el análisis de soldabilidad basado en el conocimiento y la experiencia en este campo, con lo que se tiene lo siguiente:

El acero ASTM A-36 al no tener ningún problema en cuanto a la soldabilidad, posee una calificación cualitativa de soldabilidad MUY BUENA lo que le confiere 10/10 puntos en la escala de calificación.

El acero HSLA ASTM A-514 Gr. B presenta una condición de soldabilidad BUENA, puesto que necesita ser precalentado para evitar la precipitación de elementos duros, lo que le confiere una calificación de 9/10 puntos.

³⁴ Escuela Politécnica Nacional; Laboratorio de Soldadura; Quito; 2009

El acero inoxidable NITRONIC 30 puede ser soldado con cualquier proceso que se desee, el inconveniente que presenta es que el proceso seleccionado debe brindar una atmósfera especial al arco; además para soldar este tipo de acero se requiere de equipo especial y soldadores calificados lo que complica las exigencias para el proceso de soldadura de este material dándole una condición de soldabilidad REDUCIDA por lo que su calificación es de 8/10 puntos.

El aluminio en sí es de difícil soldadura y consecuentemente la aleación de aluminio 6061 T6 no es la excepción, puesto que por la formación espontánea de óxidos de aluminio en la superficie, se necesita de equipo especial, técnicas especiales y mano de obra calificada lo que condiciona mucho a este material dándole una cualidad soldabilidad REDUCIDA y una calificación de 7/10 puntos en la escala de calificación ya que por experimentalmente se sabe que es más difícil soldar aluminio que acero inoxidable.

De esta manera se ha cuantificado la soldabilidad de los materiales en base a conocimiento y experiencia de estos tal como se presenta en la tabla 4-6.

Tabla 4-6. Criterios de soldadura de cada material. ¹⁰

	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
MATERIAL	Costo de la máquina (Usd)	Costo de Electrodo (Usd/kg.)	Costo mano de obra (Usd/día)	Soldabilidad		
ASTM A36	7,8	10	10	10	10	I
ASTM A514 Gr. B	7,8	0,9	10	9	10	II
NITRONIC 30	10	1,2	6,2	8	35	III
ALUMINIO 6061-T6	10	1,2	6,2	7	45	IV
SUMATORIA	35,6	13,3	32,4	34	100	

La escala de calificación se establece considerando que la mejor característica de entre las alternativas corresponde al puntaje más alto (10) y relacionando este valor y puntaje con los pertenecientes a los otros materiales se obtienen las respectivas calificaciones.

Con respecto a costos cabe mencionar que la máxima calificación será la alternativa que presente menores precios.

Se procede luego a normalizar la tabla 4-6 siguiendo los mismos pasos detallados como ejemplo de cálculo realizado para la preselección del acero HSLA (3.4.4) y, posteriormente se lleva a cabo la multiplicación de matrices a través de la cual se conoce el material que presenta las mejores características de acuerdo al criterio de soldadura.

Tabla 4-7. Normalización de la tabla para el criterio de soldadura.¹⁰

	CRITERIOS				PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
	I	II	III	IV		
MATERIAL	Costo de la Máquina (Usd)	Costo de Electrodo (Usd/kg.)	Costo mano de obra (Usd/día)	Soldabilidad		
ASTM A36	0,219	0,751	0,308	0,294	0,1	I
ASTM A514 Gr. B	0,219	0,067	0,308	0,264	0,1	II
NITRONIC 30	0,280	0,090	0,191	0,235	0,35	III
ALUMINIO 6061-T6	0,280	0,090	0,191	0,205	0,45	IV
SUMATORIA	1	1	1	1	1	

Tabla 4-8. Resultados del criterio de soldadura.¹⁰

ASTM A36	0,34
ASTM A514 Gr B	0,26
NITRONIC 30	0,21
ALUMINIO 6061-T6	0,20

Por consiguiente, el acero **ASTM A-36** es el que mejor condiciones para soldadura presenta.

Todos los datos de la tabla 4-8 serán utilizados para la selección final del material, específicamente en la tabla 4-9.

4.1.3.4 Esfuerzo de fluencia.

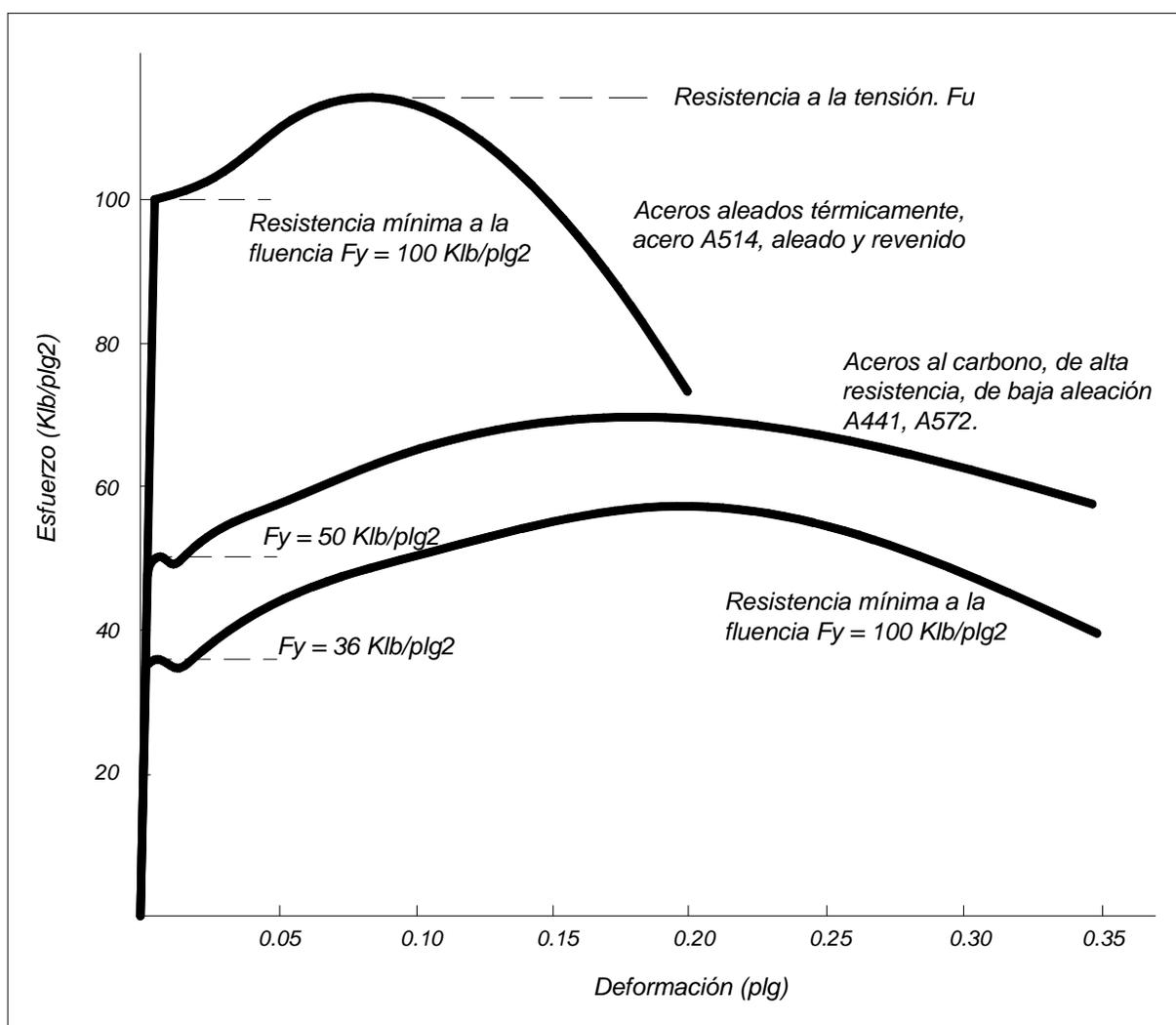


Figura 4-1. Curvas esfuerzo-deformación de los diferentes tipos de aceros.³⁵

³⁵ <http://www.construaprende.com/tesis01/122-acero/1224-caracteristicas-de-esfuer.html>

Este es uno de los criterios determinantes para la selección puesto que establece la resistencia del material antes de deformarse plásticamente. Si bien la Energía relativa considera el valor de esta propiedad, puede obtenerse el mismo resultado empleando distintos puntos de fluencia (Figura 4-1), por esta razón es indispensable considerar como un criterio más el esfuerzo de fluencia puesto que marcará una diferencia trascendental en comparación con otros materiales.

4.1.4 SELECCIÓN FINAL.

A continuación se presenta la tabla de selección final del material en la que se ha valorado cuantitativamente los criterios previamente descritos a través de valores de ponderación.

Cabe recalcar que para este proceso se empleará también el método de matriz de priorización cuyo procedimiento se ve ejemplificado a través del ejemplo de cálculo realizado en el punto 3.4.4 del presente trabajo.

Tabla 4-9. Propiedades de los criterios para la selección final.³²

MATERIAL	CRITERIOS			
	Energía relativa (plg^2)	Densidad (lb/plg^3)	Soldadura	Esfuerzo de Fluencia (psi)
ASTM A 36	21585,68	0,283	0,36	36000
A 514 Gr B	37616,85	0,282	0,21	100000
ALUMINIO 6061-T6	10110	0.09754369	0,21	40000
NITRONIC 30	49966,454	0,284	0,2	48000
SUMATORIA	119278,984	0,849	0,98	224000

Tabla 4-12. Resultados de la selección final.¹⁰

ASTM A 36	0,20	4
ASTM A 514 Gr B	0,29	1
ALUMINIO 6061-T6	0,21	3
NITRONIC 30	0,28	2

Por consiguiente, el acero **ASTM A-514 Gr. B.** es el material ganador para este tipo de aplicación.

4.2 SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN DEL ACERO ASTM A-514 CON EL ACERO ASTM A-36.

Para comprobar que el acero ASTM A-514 Gr. B es superior al acero ASTM A-36, se procederá a realizar una simulación de la estructura de una carrocería para conocer las deformaciones máximas que cada uno de estos materiales sufre cuando sobre la estructura actúa cierto grupo de cargas y, así constatar las ventajas que el material seleccionado ofrece. Sin embargo, cabe recalcar que el presente proyecto no tiene como objetivo el diseñar una carrocería sino seleccionar un material idóneo para la misma, por consiguiente, se realizará una simulación básica sin que esto afecte los resultados finales.

Para la realización de esta simulación se empleará un diseño basado en la estructura que construye una empresa carrocera ecuatoriana.

Para llevar a cabo la simulación, se procederá a dar valores a las diferentes cargas de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323, explicada previamente en el capítulo 3.

4.2.1 VALORES DE CARGAS.³⁶

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses, de acuerdo a los requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses, se aplicarán las siguientes cargas para el análisis cuasi estático.

4.2.1.1 Valor de carga viva (V).

Como se mencionó en el capítulo 3, para el análisis de las cargas y esfuerzos que sufre la carrocería de un bus al trasladarse, se tomarán las condiciones de viaje de un bus interprovincial pero aplicadas al diseño de un bus tipo urbano debido a que serían estas las condiciones más críticas en las que tendría que trabajar un bus.

Por tal motivo, de la tabla 4-13 se tomará el valor de la masa de un ocupante más el valor de la masa mínima de equipaje de mano por pasajero, o sea:

$$M_{unitaria} = 70 \text{ kg} \cdot (\text{ocupante}) + 5 \text{ kg} \cdot (\text{equipaje})$$

$$M_{unitaria} = 75 \text{ kg}.$$

Las condiciones más críticas se dan cuando el bus esté completamente lleno, por lo que se asumirá la cantidad de 100 pasajeros.

$$M_{total \text{ pasajeros}} = 75 \text{ (kg)} * 100 = 7500 \text{ (kg)}$$

$$M_{total \text{ pasajeros}} = 7500 \text{ (kg)}$$

$$P = 7500 \text{ (kg)} * 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$P = 73500 \text{ (N)}$$

³⁶ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323. Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos

Tabla 4-13. Cargas vivas de diseño.

TIPO DE SERVICIO (ver nota2)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMO DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMO DE EQUIPAJE A TRANSPORTAR SE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver Nota 3)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m ²)
Urbano	70	-	-	0.16
Urbano (Escolar e Institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Inter Urbano (Intraprovincial)	70	5	100 * Vol	0.16
Larga Distancia (Interprovincial y Turismo)	70	5	100 * Vol	Sin pasajeros de pie

4.2.1.2 Valor de la carga de giro (G).

La fuerza centrífuga que se genera cuando el vehículo circula en una curva, deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 4-14.

Esta carga se la calcula con la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{M * v^2}{r_c} \quad (1)$$

Donde:

F_c = Fuerza centrífuga. (N)

M = Masa total de la carrocería terminada sin cachis. (Kg.)

v = Velocidad del autobús. (m/s)

r_c = Radio de curvatura. (m)

DATOS :

$$v = 90 \frac{km}{h} = 25 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$r_c = 350 \text{ m}$$

$$M = 4380 \text{ kg.}$$

$$F_c = \frac{4380 \text{ kg} * \left(25 \frac{m}{s} \right)^2}{350 \text{ m}}$$

$$F_c = 7821.43 \text{ (N)} \approx 8000 \text{ (N)}$$

Este valor es el mínimo que puede tomar la fuerza centrífuga, puesto que ha sido calculada con el valor mínimo de velocidad del vehículo sugerido por la norma NTE INEN 1323, sin embargo al no tratarse de un estudio de diseño estructural no se han considerado valores más altos que el sugerido.

Tabla 4-14. Velocidades y radios mínimos en carretera.³⁷

Velocidad del vehículo (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)
80	250
85	300
90	350
95	400
100	450
105	500
110	550
115	600
120	700
125	800
130	900
135	1050
140	1250
145	1475
150	1725

4.2.1.3 Valor de carga de frenado (F).

Para calcular el valor de esta carga se empleará la siguiente fórmula:

$$F = M * a \quad (2)$$

Donde:

F = fuerza de frenado en (N).

M = masa de la carrocería terminada en (Kg.)

a = desaceleración del bus en (m/s^2)

DATOS :

$$M = 4830 \text{ (Kg.)}$$

$$a = 6 \left(\frac{m}{s^2} \right); \left[\text{la norma INEN 1323, recomienda un valor mínimo de } 4 \left(\frac{m}{s^2} \right) \right]$$

$$F = 4380 \text{ (kg)} * 6 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F = 26280 \text{ (N)} \approx 27000 \text{ (N)}$$

Este valor debe ser aplicado en sentido contrario al movimiento del bus (desaceleración).

4.2.1.4 Valor de carga de aceleración brusca (A_b)

Según la norma NTE INEN 1323, esta carga se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

4.2.1.5 Valor de carga por resistencia del aire (R_{af})

Esta carga se la calcula con la siguiente fórmula:

$$Raf = \frac{Cx * \rho * Af * v^2}{2} \quad (3)$$

Donde:

Raf = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)

ρ = Densidad del aire, en (kg/m³)

v = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s)

Af = Área correspondiente a la proyección de bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m²)

Cx = Coeficiente de resistencia frontal del aire, en (m²)

DATOS :

$$Cx=0.8$$

$$\rho=1.29 \frac{kg}{m^3}$$

$$v = 120 \frac{km}{h} \approx 34 \frac{m}{s}$$

$$Af=10m^2$$

$$Raf = \frac{0.8 * 1.29 \frac{kg}{m^3} * 10m^2 * \left(34 \frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

$$Raf = 5756.28 (N) \approx 5800 (N)$$

4.2.1.6 Combinaciones básicas de cargas.

Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base a las combinaciones de carga básicas.

En estas combinaciones existen varias posibilidades, pero por motivos de análisis se tomarán las combinaciones más críticas, puesto que si la estructura metálica de la carrocería soporta esta combinación, no tendrá ningún problema en soportar las demás. Las combinaciones que se pueden dar son los métodos ASD y LRFD.

4.2.1.6.1 Método ASD (*Allowable Strength Desing*).

Este es el método de Diseño por Esfuerzo Permisible, Diseño Elástico o Diseño por Esfuerzos de Trabajo. La mayor parte de las estructuras de acero que existen actualmente, fueron diseñadas utilizando métodos elásticos. En este método, el proyectista estima las cargas de trabajo o servicio, es decir, las cargas que la estructura tiene que soportar, y diseña los miembros estructurales con base en ciertos esfuerzos permisibles. Estos usualmente son cierta fracción del esfuerzo mínimo de fluencia especificado para el acero³⁷.

De acuerdo a la NTE INEN 1323, se tienen para este método, las siguientes combinaciones de cargas:

1. M
2. M + V
3. M + V + G
4. M + V + F
5. M + V + F + Raf
6. M + V + Raf
7. M + V + Ab
8. M + V + Ab + Raf

4.2.1.6.2 Método LRFD (*Load Resistance Factor Desing*).

Este es el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia que se basa en los conceptos de estado límite, mismo que describe una condición en la que una estructura, o alguna parte de ella, deja de cumplir su función. Este estado límite se puede subcatalogar en dos tipos: los de resistencia y los de servicio.

³⁷ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gatica_g_jc/capitulo3.pdf

El primero se basa en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo, etc. Mientras que los estados límite de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos.

En el método LRFD las cargas de servicio son multiplicadas por los llamados factores de carga o de seguridad. Con esto se obtienen las cargas factorizadas, mismas que serán utilizadas para el diseño de la estructura. Esta estructura deberá tener un diseño lo suficientemente fuerte que permita resistir estas cargas factorizadas.³⁷

De acuerdo a la NTE INEN 1323, se tienen para este método, las siguientes combinaciones de cargas:

1. $1,4M+V$
2. $1,2M + 1,6V+0,5G$
3. $1,2M + 0,5V + 1,6G$
4. $1,2M + 1,6F+0,8 Raf$
5. $1,2M +0,5 V+ 0,5F+1,3Raf$
6. $1,2M +1,5Ab +0,5V$
7. $0,9M - 1,3Raf$
8. $0,9M + 1,3Raf$

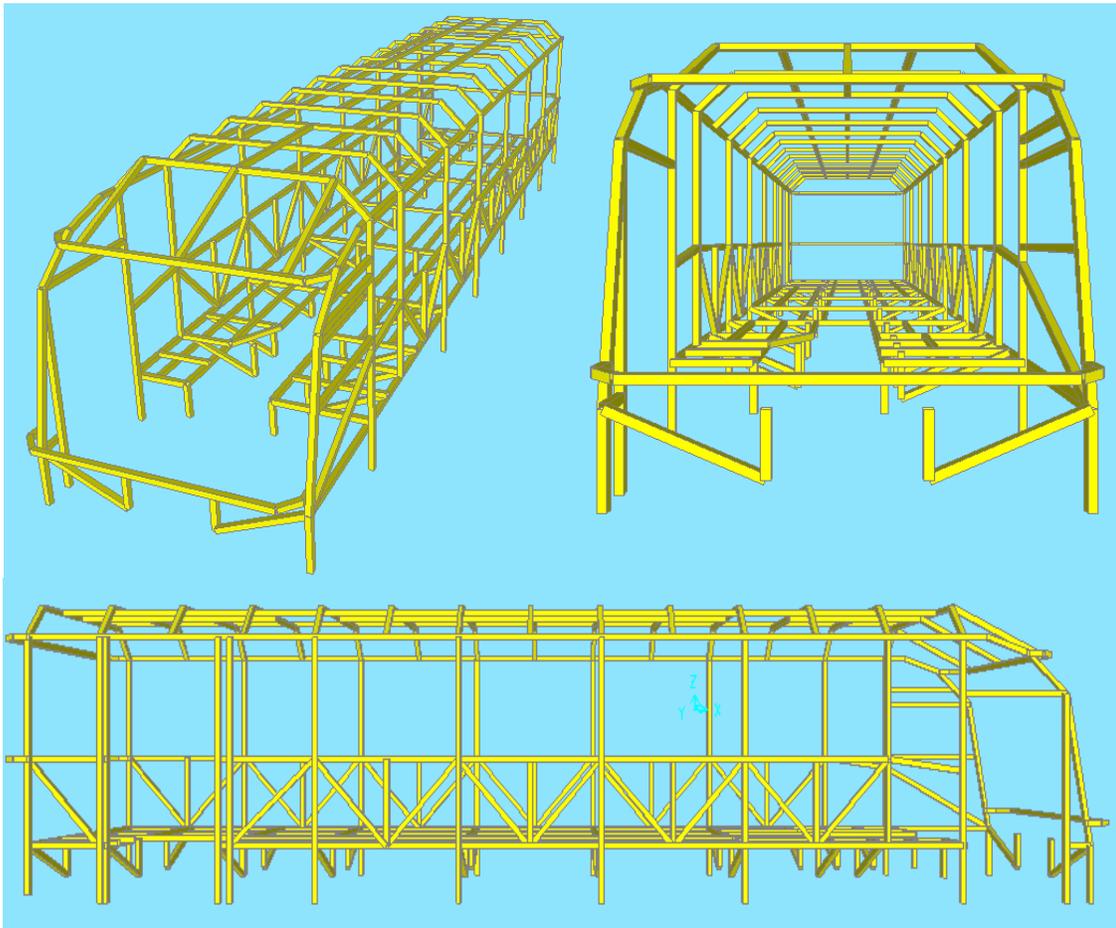
Las cargas combinadas, según los dos métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

4.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN.

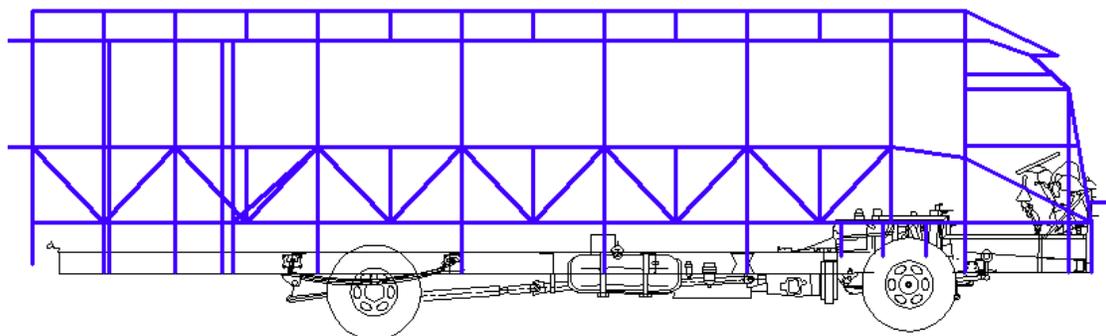
Para la simulación se aplicarán todas las cargas mencionadas en la norma NTE INEN 1323 a través de la combinación más crítica de éstas, como lo indica el método ASD: $M + V + F + Raf$ y según el método LRFD: $1,2M + 0,5 V + 0,5F + 1,3Raf$.

Si la estructura soporta los esfuerzos producidos en estas combinaciones, soportará los producidos en las demás sin ningún problema.

En la figura 4-2 se muestra la estructura de la carrocería de un bus tipo.



(a)



(b)

Figura 4-2. Estructura de la carrocería de un bus tipo (a) estructura sin chasis (b) vista lateral de estructura y chasis.¹⁰

A continuación se muestra el comportamiento del acero ASTM A-36 frente al acero ASTM A-514 Gr. B, en diferentes condiciones.

Según el método ASD recomendado por la norma NTE INEN 1323, luego de realizar la combinación de cargas, se observa el siguiente comportamiento.

El programa utilizado para la simulación es SAP-2000V11, cuyos resultados de diseño se ven ilustrados en una franja de colores, donde el color celeste de la estructura simulada indica que el diseño es el adecuado, es decir, como se concluye comúnmente, la estructura *no falla*.

Conforme se avanza en la franja de izquierda a derecha, avanza también el grado de falla que presenta la estructura, por lo tanto, el color rojo significa que la estructura y específicamente el material, alcanza la deformación plástica (la estructura *falla*).

Según los métodos ASD y LRFD recomendados por la norma NTE INEN 1323, luego de realizar la combinación de cargas, se observa el siguiente comportamiento.

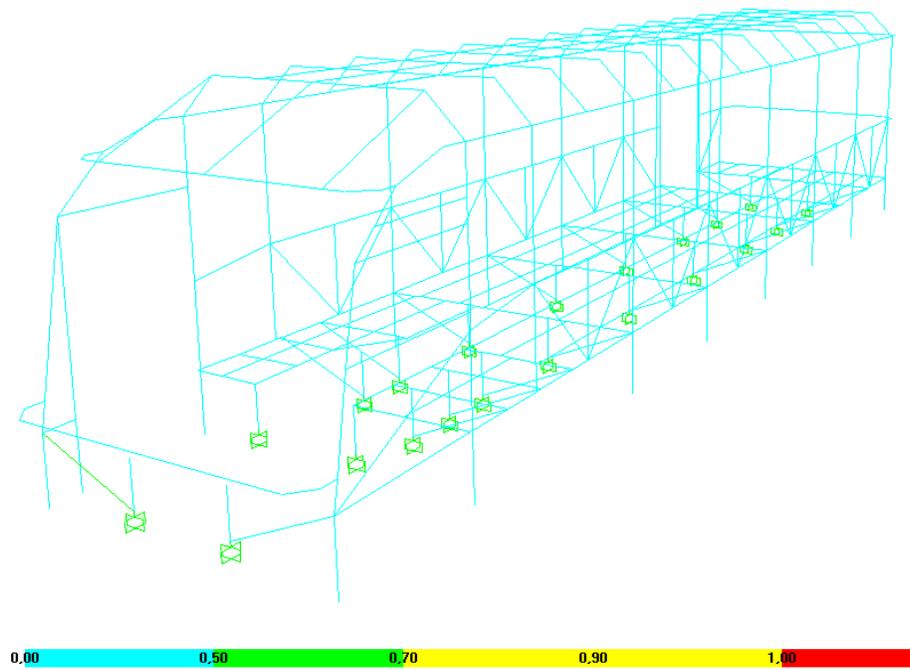


Figura 4-3. Carrocería con acero ASTM A-36 sometida a combinación de cargas según método ASD.¹⁰

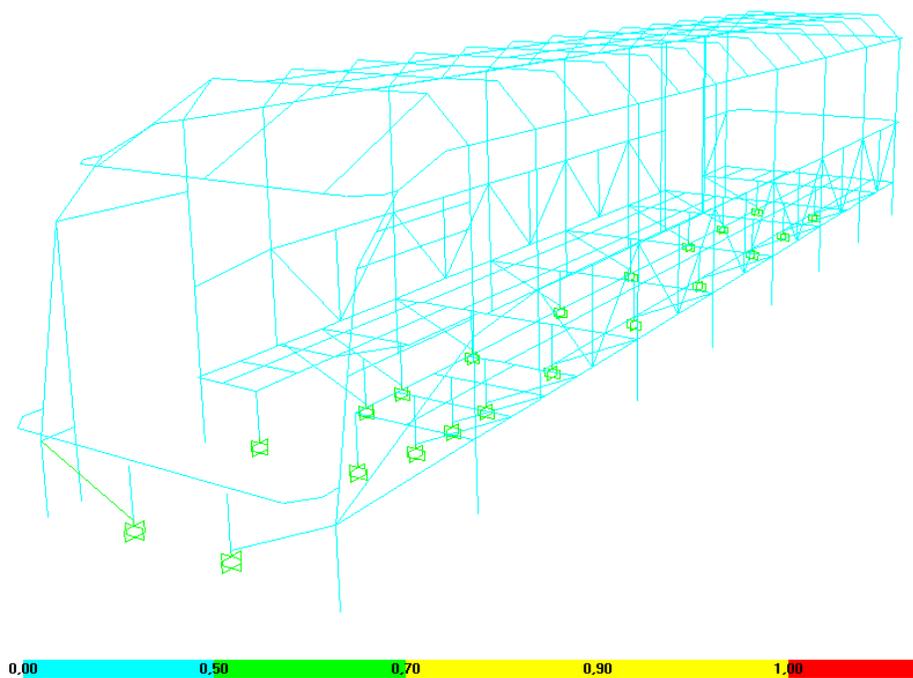


Figura 4-4. Carrocería con acero ASTM A-36 sometida a combinación de cargas según método LRFD.¹⁰

Como se observa en las figuras 4-3 y 4-4, la estructura de la carrocería construida con acero ASTM A-36 si soporta las combinaciones de cargas a las cuales fue sometida, por lo tanto y dada la mayor resistencia del acero ASTM A-514 Gr. B, una carrocería construida con este material soportará también estas combinaciones.

Para comprobar las ventajas del acero ASTM A-514 Gr. B sobre el acero ASTM A-36, se procede a realizar la simulación del comportamiento de las dos estructuras bajo el efecto de una carga frontal bajo las mismas condiciones, considerando que las estructuras estarán sometidas a una carga de 300000 (kg), que es un valor que se asume para fines demostrativos de la manera siguiente:

Aplicado la ecuación de cantidad de movimiento lineal para una masa con una velocidad determinada se tiene que:

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

F: fuerza de carga frontal (N)

P: cantidad de movimiento lineal $P = m \cdot V$ (kg m/s) (5)

t: tiempo entre la velocidad de entrada y el frenado total del vehículo (s).

Reemplazando (5) en (4):

$$F = \frac{P_f - P_o}{t_f - t_o} = \frac{m_f \cdot v_f - m_o \cdot v_o}{t_f - t_o} ; v_f = 0; t_o = 0; \text{ (por criterio de impacto)}$$

Por lo tanto se tiene la ecuación final:

$$F = -\frac{m_o \cdot v_o}{t_f} \quad (6)$$

Con los datos de los numerales 4.2.1.1 correspondientes a carga viva se tiene un peso de pasajeros con equipaje de 7500 kg., del numeral 4.2.1.2 correspondiente a la carga de giro se tiene un peso de la carrocería terminada sin chasis igual a 4830

kg. y finalmente, se tiene el peso del chasis de 4810 kg. Por lo tanto, sumando las cifras anteriores, el peso de un bus totalmente cargado es de aproximadamente 16500 kg.

La velocidad será asumida de 30 km/h = 8.33 m/s. y el tiempo de impacto de 0.5 (s), con lo que se tiene:

$$F = - \frac{16500(kg) * 8.33(m/s)}{0.5(s)} \cong 300000(N)$$

Los 300000 (N) serán aplicados en la parte delantera de la carrocería para simular un efecto de carga frontal para de esta manera tratar de aproximarse a las características de un choque frontal.

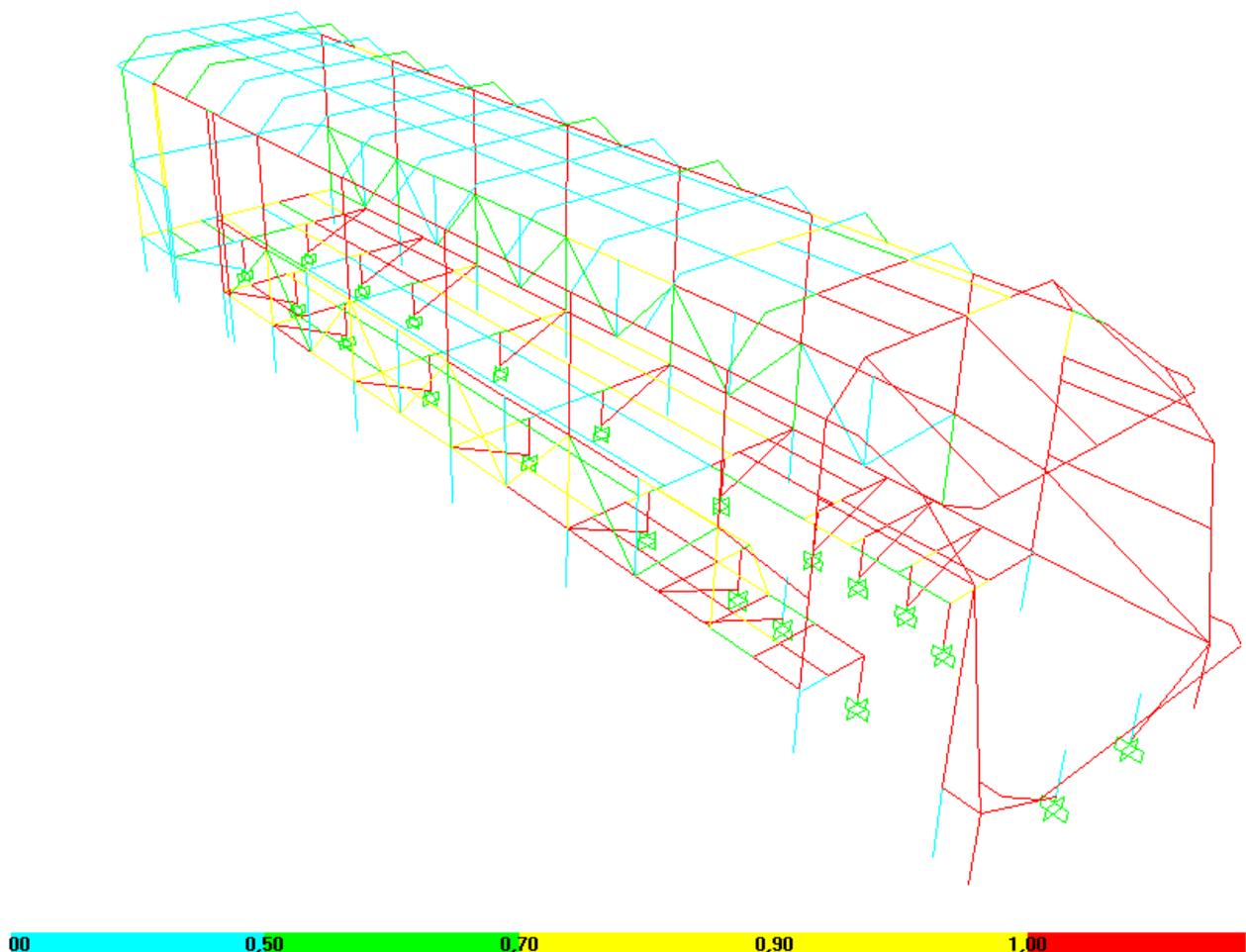


Figura 4-5. Comportamiento del acero ASTM A-36 en condiciones de un choque frontal. ¹⁰

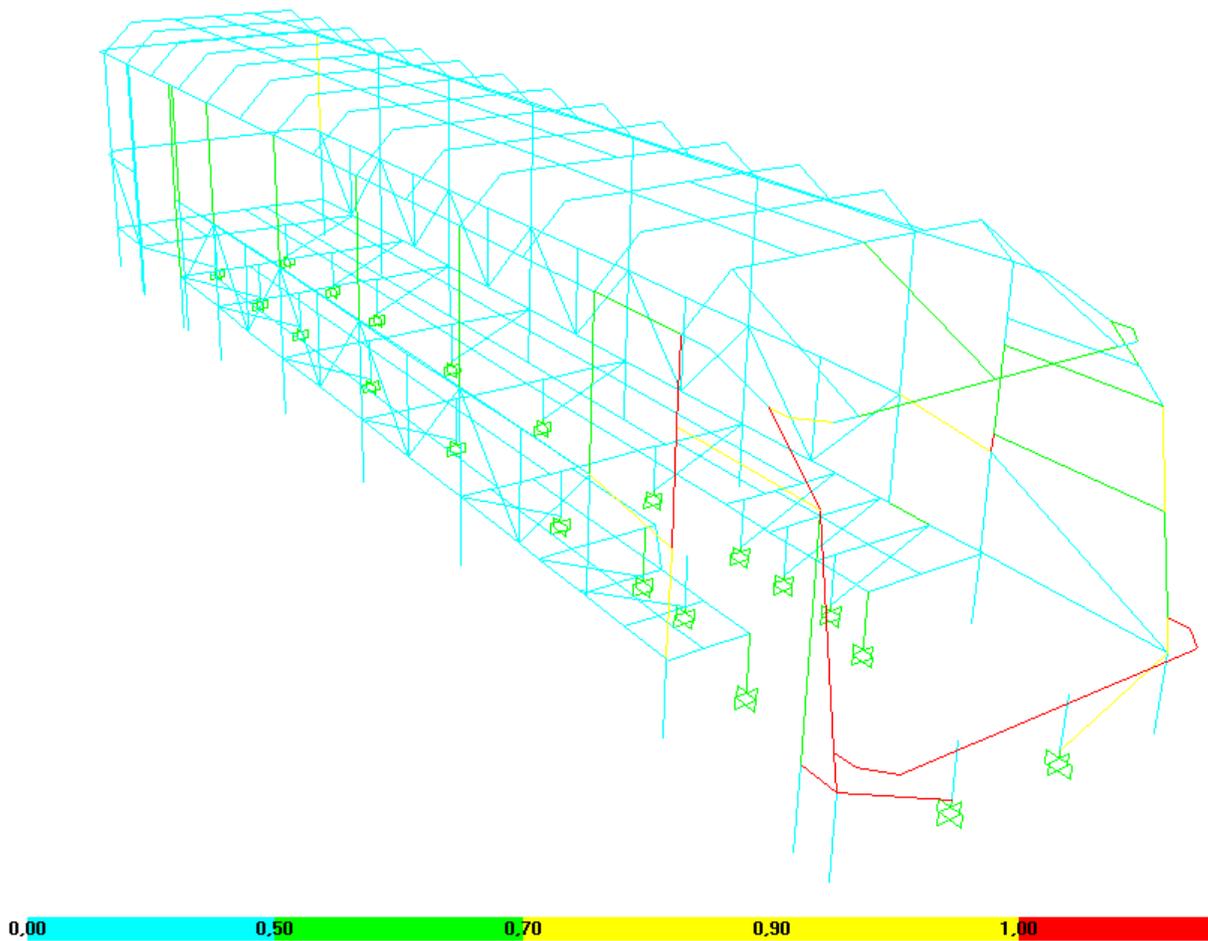


Figura 4-6. Comportamiento del acero ASTM A514 Gr. B en condiciones de un choque frontal.¹⁰

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizando los resultados obtenidos, se encuentra que el material con mayor energía relativa es el acero inoxidable de denominación Nitronic 30, cuya composición química le permite presentar una tenacidad que lo convierte en el material ideal para este tipo de aplicación. Muy cercano a este material, en cuanto a energía relativa se refiere, se encuentra el acero ASTM A-514 Gr. B siendo también una muy buena opción para aplicaciones estructurales de este tipo ya que los microaleantes adicionados a su composición le otorgan características superiores en cuanto a resistencia y tenacidad. Se observa que el material menos tenaz es el aluminio 6061-T6 siendo superado por el acero aleado común ASTM A-36.

Analizando el criterio de la relación resistencia/peso, es notable el dominio del aluminio 6061–T6, y este resultado es lógico puesto que se lo está comparando con aceros. Cabe recordar que la densidad del aluminio es aproximadamente un tercio de la del acero y, por lo tanto, el material ideal para aplicaciones estructurales desde el punto de vista de la densidad es el aluminio, es decir, que adicionalmente al beneficio que presenta el aluminio al ser más resistente en comparación al acero ASTM A-36, su uso se vuelve más conveniente si lo primordial es reducir el peso de la estructura.

Respecto al criterio de costo del material, el más conveniente es el acero ASTM A-36 ya que su gran disponibilidad en el mercado y su fácil adquisición hacen que su costo sea el mejor entre todas las alternativas. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este tipo de acero es un material “sucio”, es decir, presenta gran cantidad de inclusiones que afectan sus propiedades y disminuyen la conveniencia de su uso. El segundo material más favorable desde el punto de vista económico es el acero ASTM A-514 Gr. B, seguido por el aluminio y, la opción más costosa es el acero inoxidable.

Respecto al criterio de soldadura, que ha sido analizado a través de criterios convergentes, el material que presenta mejor soldabilidad, costo de equipo, costo de electrodo y costo de mano de obra presenta es el acero ASTM A-36 ya que por su disponibilidad en el mercado, su uso tradicional, el costo de su utilización ha sido bastante abaratado. Como segunda opción dentro del criterio de soldadura se tiene el acero ASTM A-514 Gr. B, siendo el aluminio 6061 T-6 la opción más deficiente en cuando de soldadura se trata.

El objetivo de este estudio es dar un paso más en el avance tecnológico del país, específicamente en la fabricación de la estructura de carrocerías para buses. Por esta razón se descarta el uso del material típico ASTM A-36 y luego de analizados los resultados, se observa lo siguiente:

Emplear un acero inoxidable y/o aluminio para esta aplicación en el Ecuador resulta demasiado costoso hasta la presente fecha por lo explicado anteriormente.

Por lo tanto el material recomendado luego de estos análisis es el acero ASTM A-514 Gr. B, sin embargo, luego de investigaciones realizadas se conoció que el mercado ecuatoriano al momento no dispone de este tipo de acero ni del material de aporte apropiado por lo cual para su aplicación se debe partir de resoluciones municipales o del estado. Una solución es que las empresas carroceras se unan y pidan a los fabricantes de perfiles la importación aceros o la elaboración y conformación de este material, caso contrario y basándose en la preselección de los aceros HSLA se recomienda el uso de los aceros ASTM A-588, ASTM A-572 o ASMT A-500 cuyas propiedades mecánicas son también superiores a las del acero ASTM A-36, su disponibilidad en el mercado es alta así como su material de aporte, y sus usos son frecuentes en la industria ecuatoriana para trabajos de tipo estructural.

En el trabajo de simulación se observa las figuras 4-5 y 4-6 donde la diferencia es notable debido a que la estructura construida con acero ASTM A-36 se ve seriamente afectada (coloración roja), en tanto que la estructura construida con acero ASTM A-514 Gr. B, resiste de mejor manera el impacto (poca presencia de coloración roja), lo cual demuestra la conveniencia de su uso.

Se observa también que la estructura fabricada con acero ASTM A-36 se deforma severamente no sólo en la parte frontal, sino también en el habitáculo de los pasajeros, afectando de esta manera el espacio de supervivencia que por criterio de diseño, seguridad y lógica no debe ser invadido por los miembros deformados de la estructura de la carrocería. En tanto que en la estructura construida con acero ASTM A-514 Gr. B si bien se deforma en la parte delantera, el habitáculo se mantiene intacto, garantizando seguridad a las personas que se encuentren en esta ubicación al momento del impacto, lo cual es el objetivo principal en este tipo de pruebas a accidentes.

Los resultados finales obtenidos indican que el acero ASTM A-36 no es el más apto para este tipo de aplicación. Debido a la falta de pruebas físicas en el país, tales como: volcamientos laterales, choques frontales, que en países desarrollados se los realiza de forma ineludible; no se puede comprobar de manera real el comportamiento de este material y las consecuencias de su uso. Es lamentable que en el Ecuador haya que esperar un grave accidente de tránsito para constatar el comportamiento real de los materiales de la estructura de una carrocería y su buena o mala calidad (Figuras 4-7 y 4-8).



Figura 4-7. Accidente de bus en Papallacta, Ecuador.³⁸

³⁸ http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_7345000/7345198.stm



Figura 4-8. Accidente de tránsito en Ecuador.³⁹

Si se quisiera continuar con el uso del acero ASTM A36 para la construcción de la estructura de las carrocerías luego de observar las consecuencias de su uso, es totalmente necesario duplicar o triplicar la cantidad de miembros estructurales como cerchas, columnas, etc. para que la estructura de la carrocería reaccione de la manera satisfactoria a las sollicitaciones que se presenta en un accidente grave. Sin embargo esta solución conlleva a incrementar la cantidad de material en componentes estructurales, de material de aporte y, consecuentemente incrementa el peso del bus, esto demanda un mayor esfuerzo por parte del motor, mayor consumo de combustible y, por lo tanto mayor contaminación ambiental. Además, estos incrementos conllevan mayor mano de obra y un notable incremento de costos de producción.

Al utilizar un acero HSLA, se puede realizar un diseño más eficiente de la estructura de la carrocería disminuyendo la cantidad de material empleado, sin embargo, es necesario que el diseñador de la estructura de la carrocería tenga el suficiente criterio para escoger y ubicar un acero HSLA ya sea en la totalidad de su diseño o en

³⁹ Diario la HORA; Quito; Miércoles 16 de mayo de 2007.

zonas críticas de este, evitando así la posibilidad de que con una incorrecta aplicación del material se sobredimensione el diseño de la estructura debido a la alta resistencia que un acero HSLA ofrece, lo que conlleva a una pérdida de tiempo y dinero dado que se desperdicia material, material de aporte, mano de obra calificada, lo que afecta al costo total de producción. Por esta razón, este estudio ofrece varias opciones de materiales estructurales para su correcta selección, dependiendo de las exigencias que el diseñador quiera satisfacer en su trabajo.

La preselección del acero HSLA por haberse basado en criterios estrictamente técnicos y considerando básicamente las propiedades mecánicas obtenidas a partir de sus respectivas normas, dio como resultado un acero que en la selección final presentó características superiores entre las opciones de materiales y por lo tanto debe ser adoptado como el material principal de la estructura de la carrocería de un bus, por parte de los gobiernos nacionales y/o locales.

Se debe tener presente que conforme avance los procesos tecnológicos, en un futuro se podrán aluminios y/o aceros inoxidables, de los cuales se han hablado en este estudio y se ha citado ejemplos óptimos de ellos.

Es indispensable que el gobierno del Ecuador y las autoridades seccionales emitan leyes y reglamentos que exijan de manera obligatoria la utilización de materiales más resistentes y con mayor tenacidad que la del acero usado comúnmente (ASTM A36) en las estructuras de las carrocerías, puesto que ya es hora que el país progrese tecnológicamente en la utilización de materiales y equipos que preserven la seguridad de las personas y que sean solidarios con el ambiente.

Las empresas carroceras ecuatorianas han mejorado en cuanto a calidad de terminado, accesorios, nivel de producción, etc. Incluso el tamaño de sus plantas es comparable con grandes empresas de otros países latinoamericanos. Pero ha habido un descuido notable en el cumplimiento de su objetivo principal que es el de

fabricar carrocerías seguras ya que hoy en día siguen construyendo estas de forma artesanal y confiando en conocimientos empíricos.

Llevar a cabo una prueba de volcamiento del bus implica tener un conocimiento muy cercano a la realidad en lo concerniente a las deformaciones que sufre este, el comportamiento del material, las partes críticas de la estructura, la competencia de las soldaduras y, por lo tanto, se puede saber si la estructura invade el espacio de supervivencia en el que se encuentran los pasajeros en cuyo caso el diseño pondría en peligro la seguridad de las personas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- El material más empleado en la fabricación de estructuras para carrocerías metálicas es el acero ASTM A-36 debido a su disponibilidad en el mercado, a su costo y, especialmente, por el hecho de que no ha existido un estudio sobre materiales para esta aplicación su uso se ha vuelto una tradición.
- Como consecuencia de la falta de capacitación al sector carrocerero, ya sea por descuido del gobierno o por falta de interés de sus miembros, la mayor parte de empresas carroceras son artesanales y consecuencia de ello es el empleo de miembros no estructurales en lugar de perfiles recomendados por normas internacionales.
- El uso de aceros microaleados para esta aplicación, brinda características superiores a la carrocería dado que los elementos adicionados al acero aleado común, permiten una mejora notable de sus cualidades frente a los esfuerzos a los que se ve sometida la estructura de la carrocería en el desarrollo del servicio para el cual fue diseñada, es así que los aceros microaleados HSLA son usados en las empresas automotrices emblemáticas tales como: Mercedes Benz, Audi, Volkswagen, Toyota, Renault, Seat, entre otras.
- En países industrializados, es cada vez más creciente el empleo de materiales estructurales diferentes del acero común ASTM A36, hoy en día se usan aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), aceros inoxidables y aluminios en los miembros estructurales de los vehículos.

- El material más resistente entre los empleados en las estructuras de las carrocerías y, consecuentemente, el que menor deformación alcanza al ser sometido a combinaciones de cargas, es el acero ASTM A-514 Gr. B.
- El acero ASTM A-514 Gr. B es el que mejores características mecánicas presenta entre los materiales que se emplean en estructuras de carrocerías para vehículos y es el material cuya selección implica un paso más en el camino hacia la adopción de materiales nuevos y mejores que contribuyan al desarrollo tecnológico del país.
- El empleo de un acero de alta resistencia como el ASTM A-514 Gr. B permite que en el momento de un impacto, la energía producida sea absorbida por la carrocería y no por los pasajeros, como sucede comúnmente, convirtiendo al habitáculo del bus en una verdadera cápsula de seguridad para las personas que ahí se encuentran.
- Al emplear un acero HSLA en la estructura de la carrocería, y con un diseño adecuado, el peso del vehículo inevitable y beneficiosamente disminuirá, ya que por su alta resistencia será necesario emplear una cantidad menor de material en comparación con la que se usaría si se trata de un acero aleado común.
- Al disminuir el peso del vehículo, la potencia requerida para su movimiento será menor, es decir, se necesitará de una menor cantidad de combustible, lo cual conlleva a reducir las emisiones contaminantes.
- La Normativa Ecuatoriana del INEN ratifica el análisis realizado en el presente estudio, ya que pide que se realicen pruebas de volcamiento de los buses o su simulación para que a través de estas se pueda evaluar el comportamiento de los materiales, su resistencia y su aptitud para este tipo de aplicación.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Al presentar el acero ASTM A-514 Gr. B mayor resistencia, se recomienda realizar un rediseño de la estructura metálica de las carrocerías para buses utilizando esta opción, puesto que se podría disminuir la cantidad de material empleado para que soporte las mismas condiciones de operación y, consecuentemente, al disminuir el peso de la carrocería, disminuye el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.
- La industria carrocera ecuatoriana debe aspirar a incorporar materiales como aceros inoxidable o aluminios en los miembros estructurales que trabajan bajo las condiciones más críticas, para posteriormente y con los avances tecnológicos, fabricar toda la estructura con estos materiales.
- Es recomendable que se capacite al sector carrocerero para que los fabricantes llamados “artesanales” desarrollen sus empresas y se conviertan en fabricantes que operen bajo conocimientos técnicos y así puedan construir carrocerías sustentadas técnicamente que ofrezcan seguridad a los usuarios.
- Se recomienda también el empleo de aceros de alta resistencia que tengan propiedades y composiciones similares a las del acero seleccionado en el presente proyecto así como los aceros ASTM A-588, ASTM A-572 o ASMT A-500, puesto que los beneficios obtenidos serán también similares.
- Es indispensable que las empresas carroceras no construyan perfiles, puesto que simplemente están llevando a cabo un proceso de doblado, sin una base técnica que garantice para el perfil obtenido el cumplimiento de características estructurales especificadas en normas y requeridas para este tipo de aplicación.

- El chasis empleado para ser carrozado como bus, debe ser obligatoriamente apto para este tipo de servicio, con una configuración tal que la estabilidad del vehículo y, por lo tanto, la seguridad de los pasajeros este garantizada. En ninguna circunstancia se debe utilizar un chasis de camión para servicio de bus tal como se hace en la actualidad.
- Al ser el presente un estudio sobre materiales estructurales para la carrocería de un bus, debe ser complementado con el análisis de un diseño estructural idóneo de la carrocería y con un minucioso estudio de soldabilidad de la misma.
- Se debe realizar la prueba de volcamiento de preferencia de forma física (volcando un bus o una sección de este) o a través de simulación, para evaluar de esta manera el comportamiento del material empleado y, sobre todo, del diseño del bus; evitando así tener que tomar medidas correctivas después de perder vidas producto de un accidente.
- Es importante que el gobierno incentive y apoye el estudio de nuevas tecnologías y nuevos materiales que permitan mejorar los procesos productivos del país y la calidad de servicios a las personas.

BIBLIOGRAFÍA

- AVNER SYDNEY; Introducción a la Metalurgia Física; Editorial Mc GRAW-HILL; México; 1996.
- MANGONON PAT L.; Ciencia de Materiales Selección y Diseño; Editorial Prentice Hall; México; 2001.
- SHACKELFORD JAMES; Ciencia de Materiales para Ingenieros; Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A; 3ra edición; México; 1992.
- SCHAFFER JAMES; Ciencia y Diseño de Ingeniería de los Materiales; Editorial Continental; 1ra edición; México; 2000.
- ASHBY MICHAEL, DAVID JONES; Materiales para Ingeniería; Editorial Reverté; España; 2008.
- ASKELAND DONAL; La ciencia e Ingeniería de los Materiales; Editorial Iberoamérica; México; 1987.
- GARCÍA JOSÉ, NAVARRO JOSÉ, GÓMES TOMÁS, ÁGUEDA EDUARDO; Automoción Elementos Amovibles y Fijos no Estructurales; Editorial Thompson Paraninfo; España; 2004.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://www.wikilearning.com/curso_gratis/los_transportes-el_transporte_en_la_configuración_de_territorio/1915-5.
- http://www.quitoparatodos.org/index.php?option=com_content&view=article&id=33:lo-que-sobran-son-autosno-buses&catid=14:documentos&Itemid=24
- <http://www.welcomeecuador.com/ecuadortransporte.php>
- <http://www.redcientifica.com/doc/doc200208160300.html>
- <http://www.hoy.com.ec/suplemen/blan383/negro1.htm>
- http://www.antala.com/m_docs/BETAPRIME_5404.pdf
- www.systemcover.com/descarga/33.doc
- Mantenimiento de Vehículos; Equipo de Profesores del Centro de Documentación; CEDE; Madrid
- CRILAMYT S.A, Primer Congreso de Innovación, Desarrollo y Competitividad en la Fabricación de Carrocerías; Vidrios de Seguridad en Vehículos; Ambato; 2007.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>
- <http://www.grupomasur.com/consejosacero.php>
- http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm

- Tubocobre S.A. Boletín técnico
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/aluminio>
- http://www.holmatro-usa.com/espanol/artuculos/TECNOLOGIA_Y_RESCATE_EN_VEHICULOS_MODERNOS.pdf
- http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=2772&Itemid=30
- <http://digital.csic.es/bitstream/10261/3702/1/nuevos%20materiales%20metalicos.pdf>
- <http://www.cesvi.com.ar/revistas>.
- VW Programa autodidáctico número 211; El New Beetle; Diseño y funcionamiento.
- <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/4/55868-4.pdf>
- AUDI España; ASF Audi Space Frame
- Nota Técnica; La Tecnología Automotriz Continúa Avanzando Día a Día.
- www.businesswire.com/bwapps/mediaserver/ViewM
- <http://www.taringa.net/posts/2342726/Buses.html>
- Martí Parera Albert; Limitaciones del Conductor y del Vehículo; Boixareu Editores; Primera Edición; 1992

- Peña Francisco J. Alfonso; Importancia de la Aerodinámica en el Diseño de Carrocerías; Marzo; 2007.
- <http://www.unalmed.edu.co/-cpgarcia/mecanicas.pdf>
- Fortune City; Comportamiento de los Materiales Bajo Carga
- 100 BARR HARBOR DRIVE; PA; USA; American Society for Testing and Materials; Normas: ASTM A36, ASTM A240, ASTM A242, ASTM A500, ASTM A514, ASTM A517, ASTM A572, ASTM A588.
- <http://www.luminum.com/es/data>
- EMMONS BRUCE, BLESSING LEONARD; Ultralight Stainless Steel Urban Bus Concept; SAE Technical Paper Series; Washington D.C.; Mayo; 2001.
- AK Steel Corporation; Nitronic 30 Stainless Steel Data Sheet; USA; 2000
- Escuela Politécnica Nacional; Laboratorio de Soldadura; Quito; 2009
- <http://www.construaprende.com/tesis01/122-acero/1224-caracteristicas-de-esfuer.html>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323. Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gatica_g_jc/capitulo3.pdf
- http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_7345000/7345198.stm
- Diario la HORA; Quito; Miércoles 16 de mayo de 2007

ANEXOS