

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CARACTERIZACIÓN DE PARTES REPARADAS DE VEHÍCULOS
SINIESTRADOS**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS
AUTOMOTRICES**

JULIO CÉSAR GAGUANCELA SAÑAICELA

cesgaguan@hotmail.com

SANTIAGO RAÚL PUENTE CASTRO

santiagopuentec@gmail.com

DIRECTOR: Ing. LUIS RICARDO SOTO AYMAR MSc.

ricardo.soto@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. JORGE ENRIQUE MARTINEZ CORAL MSc.

jmartinezcoral@gmail.com

Quito, Marzo 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Nosotros, Julio César Gaguancela Sañaicela y Santiago Raúl Puente Castro, declaramos 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.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Julio César Gaguancela Sañaicela

Santiago Raúl Puente Castro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Julio César Gaguancela Sañaicela y Santiago Raúl Puente Castro, bajo mi supervisión.

Ing. Luis Ricardo Soto Aymar MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Jorge Enrique Martínez Coral MSc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Extendemos nuestro fraterno y sincero agradecimiento a Ing. Ricardo Soto MSc. e Ing. Jorge Martínez MSc., por la incalculable sabiduría impartida en el proceso de este trabajo de investigación.

A la Escuela Politécnica Nacional, que por medio de todos sus directivos, docentes y colaboradores de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en base a una organización inestimable se ha hecho realidad esta Maestría.

A los Laboratorios de Análisis, Esfuerzos y Vibraciones (LAEV), Metalurgia Extractiva, y Metalografía, Desgaste y Falla, un cordial abrazo a todo su personal que supo brindarnos su apoyo, enseñanzas y sobre todo, su tiempo.

A la empresa Automotores Continental S.A, que por medio de su centro de colisiones, contribuyo con las partes para el efecto de nuestro estudio.

DEDICATORIA

A Dios, padre celestial, que todos los días, me ha dado lecciones de vida, sabiduría, y aprendizaje.

A mi esposa Mónica, por ser mi persona ideal, compañera incondicional, mi total ejemplo, que ha sido el pilar primordial de este logro.

A mis hijos Avril y Martín, mi alegría, mi empuje para todos los días seguir adelante, las pequeñas luces que iluminan el sendero de mi alma.

A mis padres, quienes enrumbaron al pequeño niño, hacia el camino correcto y a conseguir lo que se proponga con constante esfuerzo.

A toda mi familia grande, que de una u otra manera supieron estar allí, y que gracias a todos, este esfuerzo y logro se hace memorable.

Santiago.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, salud, sabiduría y paciencia.

A mis padres Julio César y Dolores Agustina por el apoyo constante, sabios consejos y ejemplo de trabajo han sido una guía para formarme con valores por el camino del bien.

A mis hermanos Luis, Jorge, Rosa y Leoncio, cuñadas Flor Analía y Carmen Yolanda y cuñado Segundo Florencio por el apoyo y amistad incondicional, a mis sobrinos y sobrinas que me motivan a seguir adelante cada día.

A todos los docentes y en especial a mi director Ing. Ricardo Soto y codirector Ing. Jorge Martínez quienes con sus conocimientos, experiencia, apoyo y comprensión guiaron la realización del proyecto.

César.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xviii
PRESENTACIÓN.....	xix
CAPÍTULO 1	1
CARACTERIZACIÓN DE PARTES REPARADAS DE VEHÍCULOS SINIESTRADOS1	
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. INTRODUCCIÓN	2
1.3. OBJETIVO GENERAL	2
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 2	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1. INTRODUCCIÓN	4
2.1.1. HISTORIA DE LAS CARROCERÍAS.....	5
2.1.2. EVOLUCIÓN DE LAS CARROCERÍAS.....	6
2.2. TIPOS DE CARROCERÍAS	8
2.2.1. CARROCERÍAS Y CHASIS SEPARADOS	8
2.2.2. MONOCASCO AUTOPORTANTE	10
2.2.3. CARROCERÍA TUBULAR	11

2.2.4.	DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES EN UN AUTOMÓVIL	12
2.2.5.	IDENTIFICACIÓN DE UN VEHÍCULO	13
2.2.6.	MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN	15
2.2.7.	NORMATIVA	16
2.3.	COMPONENTES DE LA CARROCERÍA	16
2.3.1.	ELEMENTOS INTERNOS DE LA CARROCERÍA	17
2.3.2.	ELEMENTOS EXTERNOS DE LA CARROCERÍA.....	19
2.4.	JAULA DE SEGURIDAD	21
2.4.1.	ARCO ANTIVUELCO	22
2.5.	DEFORMACIÓN PROGRAMADA	22
2.5.1.	LARGUEROS	23
2.5.2.	TRAVESAÑO DELANTERO.....	25
2.5.3.	ESTRUCTURA DELANTERA.....	26
2.5.4.	HABITÁCULO.....	26
2.5.5.	PROTECCIONES LATERALES	27
2.5.6.	PARACHOQUES	27
2.6.	VARIANTES DEL SISTEMA	28
2.6.1.	ENERGÍA DE DEFORMACIÓN.....	28
2.6.2.	EFFECTO DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL.....	29
2.6.3.	FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA COLISIÓN	30
2.6.4.	IMPACTO	30
2.7.	ESTADÍSTICAS POR TIPO DE COLISIÓN	32
2.7.1.	VOLCAMIENTO.....	32
2.7.2.	SALTO.....	33
2.7.4.	COLISIÓN LATERAL.....	33
2.8.	CAUSAS DE ACCIDENTES	33
2.8.1.	FACTOR HUMANO	34
2.8.2.	FACTOR MECÁNICO.....	34
2.8.3.	FACTOR CLIMATOLÓGICO Y OTROS	34
2.9.	SINIESTRALIDAD EN EL ECUADOR.....	34

2.10.	NORMATIVA ECUATORIANA.....	40
2.11.	NORMA EUROPEA	40
CAPÍTULO 3		42
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		42
3.1.	PRUEBAS BAJO NORMAS INTERNACIONALES	42
3.2.	ENTIDADES QUE REALIZAN ENSAYOS	42
3.2.1.	FABRICANTES.....	43
3.2.2.	ORGANISMOS DE HOMOLOGACIÓN	43
3.2.3.	ORGANIZACIONES NHTSA Y NCAP	43
3.2.4.	NORMAS PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS	44
3.3.	SELECCIÓN DE PRUEBAS A REALIZAR.....	45
3.3.1.	ELEMENTOS DE AUTOMOVILES SINIESTRADOS	47
CAPÍTULO 4		51
DESARROLLO DE RESULTADOS.....		51
4.1.	VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DEFORMACIÓN DE CARROCERÍA	51
4.2.	ÁNGULOS DE IMPACTO	51
4.2.1.	COLISIÓN FRONTAL.....	51
4.2.2.	COLISIONES LATERALES	52
4.2.3.	COLISIONES POR ROCE.....	52
4.2.4.	COLISIÓN POR ALCANCE	52
4.3.	RECOPIACIÓN DE DATOS DE LABORATORIO	53
4.3.1.	ENSAYOS DE TRACCIÓN.....	53
4.3.2.	ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA ROCKWELL.....	59
4.3.3.	ENSAYOS METALOGRAFÍCOS	63
4.4.	ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA DE CHISPA.....	72
4.4.1.	PROCEDIMIENTO	73
4.4.2.	RESULTADOS DE ESPECTROMETRÍA DE CHISPA	74

4.5. CÁLCULOS MATEMÁTICOS.....	74
4.6. RESUMEN DE RESULTADOS	77
4.6.1. ANÁLISIS DE FRACTURA DE PROBETAS DE TRACCIÓN	81
4.6.2. ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....	83
4.7. ANÁLISIS DE ENERGÍA DE DEFORMACIÓN	88
4.7.1. CAPÓ SEDÁN 1.4 GRUPO 4	88
4.7.2. VELOCIDAD DE IMPACTO.....	90
4.7.3. FUERZA DE IMPACTO	90
4.8. DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE ELEMENTOS	91
4.9. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DEL AUTOMÓVIL	92
4.9.1. ESFUERZO NORMAL (σ)	92
4.9.2. ELONGACIÓN O ALARGAMINETO ϵ (%).....	92
4.9.3. ESTRICCIÓN DE ROTURA (Ψ)	92
4.9.4. COEFICIENTE DE POISSON (ν)	93
4.9.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD (E).....	93
4.9.6. ENERGIA DE DEFORMACIÓN (u).....	95
4.9.7. RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN	95
4.10. DIAGRAMAS DE ENSAYO ESFUERZO – DEFORMACIÓN	97
4.11. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	98
4.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
CAPÍTULO 5	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
5.1. CONCLUSIONES.....	112
5.2. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	119
Anexo 1. Ensayos de tracción.....	119

Anexo 2. Resultados de análisis por espectrometría de chispa.....	133
<u>Anexo 3. Tabla de conversión de dureza.....</u>	136
Anexo 4. Paper SAE 920607.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Identificación de un vehículo	14
Tabla 2.2. Subidentificadores WMI, VDS y VIS.....	15
Tabla 2.3. Accidentes de tránsito por Tipo 2010 - 2014	35
Tabla 2.4. Siniestros por provincia a nivel nacional 2010 – 2014.....	36
Tabla 2.5. Accidentes de tránsito por causas probables 2010 – 2014	37
Tabla 2.6. Muertos por provincia 2010 – 2014	38
Tabla 2.7. Heridos por provincia 2010 – 2014.....	39

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Elementos de automóviles siniestrados.....	46
---	----

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas estándar	58
Tabla 4.2. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas enderezadas en frío	58
Tabla 4.3. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas enderezadas con calor	59
Tabla 4.4. Ensayos de barrido de dureza probetas probetas estándar	62
Tabla 4.5. Ensayos de barrido de dureza probetas enderezadas en frío	63
Tabla 4.6. Ensayos de barrido de dureza probetas enderezadas con calor.....	63
Tabla 4.7. Soluciones para ataque químico en acero	67
Tabla 4.8. Microestructura obtenida de las probetas estándar.....	69
Tabla 4.9. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas en frío.....	70
Tabla 4.10. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas con calor	71

Tabla 4.11. Resultados de análisis por espectrometría de chispa	74
Tabla 4.12. Coeficientes de esfuerzos para choques.....	77
Tabla 4.13. Resumen de resultados obtenidos Pick Up 3.0 diésel	77
Tabla 4.14. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4 (guardafango)	78
Tabla 4.15. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4 (puerta)	78
Tabla 4.16. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4 (capó).....	79
Tabla 4.17. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.6 (capó).....	79
Tabla 4.18. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.8 (compuerta).....	80
Tabla 4.19. Resumen de resultados obtenidos Sedan 1.6 (frontal).....	80
Tabla 4.20. Fractura guardafango derecho Pick Up 3.0 diésel	81
Tabla 4.21. Fractura guardafango derecho Sedán 1.4	81
Tabla 4.22. Fractura puerta izquierda Sedán 1.4	82
Tabla 4.23. Fractura capó Sedán 1.4	82
Tabla 4.24. Fractura capó Sedán 1.6	82
Tabla 4.25. Fractura compuerta posterior Sedán 1.8	83
Tabla 4.26. Fractura frontal delantero Sedán 1.6	83
Tabla 4.27. Factor de corrección para determinar el tamaño del grano	85
Tabla 4.28. Análisis de resultados metalográficosy mecánicos.....	85
Tabla 4.29. Conversión de unidades	89
Tabla 4.30. Fuerzas de impacto horizontal y vertical	91
Tabla 4.31. Resultados de elongación %, extricción %, coeficiente de poisson.....	94
Tabla 4.32. Módulo de elasticidad, energía de deformación	95
Tabla 4.33. Conversión de dureza	96
Tabla 4.34. Resultados propiedades mecánicas de probetas	98
Tabla 4.35. Resultados de composición química de partes de automóviles	99
Tabla 4.36. Composición química máxima (% por masa)	100
Tabla 4.37. Composición química y propiedades mecánicas JIS G 3141	100
Tabla 4.38. Composición química y propiedades mecánicas ASTM A 366	100
Tabla 4.39. Tipo de material según normas	101

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Distribución básica de la carrocería.....	4
Figura 2.2. Carrocería de tracción animal	7
Figura 2.3. Carrocería con estructura de acero.....	7
Figura 2.4. Carrocería autoportante	8
Figura 2.5. Bastidor	9
Figura 2.6. Carrocería monocasco	11
Figura 2.7. Carrocería tubular	11
Figura 2.8. Carrocería monovolumen.....	12
Figura 2.9. Carrocería Bi-volumen	12
Figura 2.10. Carrocería Tri-volumen	13
Figura 2.11. Componentes de la carrocería	17
Figura 2.12. Jaula de seguridad	21
Figura 2.13. Arco antivuelco.....	22
Figura 2.14. Deformación programada.....	23
Figura 2.15. Largueros delanteros	24
Figura 2.16. Largueros posteriores	24
Figura 2.17. Largueros superiores	25
Figura 2.18. Largueros inferiores	25
Figura 2.19. Travesaño delantero	26
Figura 2.20. Estructura delantera	26
Figura 2.21. Habitáculo	27
Figura 2.22. Protecciones laterales	27
Figura 2.23. Bumper delantero y posterior	28
Figura 2.24. Accidentes de tránsito por tipo	35
Figura 2.25. Siniestros por provincia	36
Figura 2.26. Accidentes de tránsito por causas probables.....	37
Figura 2.27. Fallecidos por provincia.....	38

Figura 2.28. Heridos por provincia	39
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Guardafango derecho Pick Up 3.0 diesel.....	47
Figura 3.2. Guardafango derecho Sedán 1.4	48
Figura 3.3. Puerta izquierda Sedán 1.4	48
Figura 3.4. Capó Sedán 1.4	48
Figura 3.5. Capó Sedán 1.6	49
Figura 3.6. Compuerta Sedán 1.8	49
Figura 3.7. Frontal delantero Sedán 1.6.....	50

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Probeta para ensayo de tracción.....	53
Figura 4.2. Corte de probeta ensayo de tracción	55
Figura 4.3. Corte e inspección de probeta ensayo de tracción.....	55
Figura 4.4. Montaje de probeta en máquina universal	56
Figura 4.5. Montaje y desmontaje de probeta	57
Figura 4.6. Extracción de probetas para dureza.....	60
Figura 4.7. Equipo de prueba durómetro.....	60
Figura 4.8. Aplicación de precarga durómetro.....	61
Figura 4.9. Ensayo de dureza	61
Figura 4.10. Lectura Ensayo de dureza	62
Figura 4.11. Extracción de probetas para ensayo metalográfico.....	64
Figura 4.12. Montaje probetas para ensayo metalográfico	65
Figura 4.13. Desbaste probetas para ensayo metalográfico	66
Figura 4.14. Pulido de probetas	67
Figura 4.15. Probetas listas para observación de micrografía	68
Figura 4.16. Observación micrográfica de las probetas atacadas.....	69
Figura 4.17. Espectrometro de chispa Bruker	73

Figura 4.18. Chispa generada en la muestra	73
Figura 4.19. Superficie deformada	76
Figura 4.20. Plantilla para determinar el tamaño de grano por comparación	84
Figura 4.21. Capó Sedán 1.4	88
Figura 4.22. Fuerzas de impacto.....	90
Figura 4.23. Curva esfuerzo - deformación 1T1 probeta estándar Pick Up 3.0.....	97
Figura 4.24. Curva esfuerzo - deformación 2T1 probeta enderezada en frío Pick Up 3.0	97
Figura 4.25. Curva esfuerzo - deformación 3T1 probeta enderezada con calor Pick Up 3.0.....	98
Figura 4.26. Ductilidad vs. composición (% en peso C)	99

RESUMEN

El trabajo mostrado destaca el estudio de las partes reparadas de vehículos siniestrados, las variaciones estructurales, mecánicas, físicas y de microestructura posteriores a su reparación.

A continuación se indica el problema que motiva la ejecución de esta investigación, y que en la actualidad representa de irrelevante importancia en el país.

La teoría citada indica las partes, funcionamiento, tipos de estructuras y carrocerías utilizadas por los fabricantes de vehículos que aportan seguridad pasiva a los ocupantes.

Se define las partes deformables de vehículos a ser analizados, la marca y modelos, pruebas y ensayos a realizar, los equipos de experimentación utilizados, pruebas, muestreo y normas aplicadas.

Los resultados obtenidos reflejan interesantes variables de comportamiento entre cada una de las mismas muestras de la misma clase.

Finalmente se anexan varios materiales bibliográficos con información de las pruebas realizadas, así como documentos de selección de materiales para la fabricación de los elementos de muestra.

PRESENTACIÓN

La tecnología actual en la industria automotriz, la inclusión de modernos sistemas de seguridad pasiva, han sido un impulso para la fabricación de vehículos de alto desempeño, versatilidad y aerodinámica.

Debido a esto, en nuestro país, los elevados índices de siniestralidad, han motivado el desarrollo de este trabajo que pretende proporcionar información que garantice la vida útil, fiabilidad y seguridad de las partes deformables de vehículos posterior a su reparación.

Para la realización de este trabajo se eligió vehículos que circulan en nuestro país, así como sus principales modelos adquiridos.

Las pruebas experimentales realizadas se soportan en normas nacionales e internacionales, lo cual asegura que la investigación presente información de incalculable valor para la industria automotriz.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZACIÓN DE PARTES REPARADAS DE VEHÍCULOS SINIESTRADOS

1.1. ANTECEDENTES

Los elevados índices de accidentabilidad en las vías han motivado realizar el presente trabajo, el cual pretende efectuar un estudio que garantice la vida útil de las partes deformables reparadas de vehículos chocados, de manera que certifique la fiabilidad y seguridad en una futura colisión, de esta manera el presente estudio servirá como aporte a la sociedad en materia de prevención de daños físicos, psicológicos, económicos, y familiares.

Mediante los resultados de la utilización del equipo de laboratorio, permitirá realizar el análisis de las curvas características y puntos críticos, que determine la validación del grado porcentual aceptable de los componentes reparados de un vehículo siniestrado, lo que ayudará a superar los problemas de seguridad estructural y vida útil, muy comunes durante la reparación por siniestro, lo que ocasiona graves pérdidas humanas, materiales y económicas. Así mismo se marcará un estándar de validación para reparación o cambio de partes en centros de colisiones autorizados por concesionarios y aseguradoras.

A partir de ésta investigación es posible efectuar una variedad de trabajos futuros como la simulación de choques contra barreras los cuales determinen parámetros de coeficiente de rozamiento estático y dinámico entre superficies o la simulación de choques por elementos finitos en una gran variedad de modelos de diferentes tamaños como turismos, furgonetas, autobuses, camiones.

1.2. INTRODUCCIÓN

Con el fin de estudiar el comportamiento de los componentes reparados de un automóvil siniestrado y analizar las variaciones que pudieren existir debido a la fatiga del material posterior a su reparación, se realizará la investigación sobre la caracterización de los componentes a intervenir, todo ello con el designio de garantizar en la medida de lo permisible la máxima protección, no solo de los ocupantes del propio vehículo sino también de los peatones en un impacto sufran las mínimas consecuencias.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar partes reparadas de vehículos siniestrados

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los componentes y principio de funcionamiento de la carrocería, deformación programada y estadísticas de colisión en el Ecuador.
- Fundamentar en forma técnica la reparación o cambio de los elementos de estructuras deformables, de automóviles siniestrados.
- Determinar los parámetros que se consideran en la medición del desempeño de las estructuras deformables del vehículo, como son material, dureza, tracción, espesor, en colisiones frontales y a 45 grados.
- Obtener la medición de los datos de desempeño de las estructuras deformables, en diferentes modelos de vehículos.

- Comparar los datos obtenidos en los diferentes vehículos sobre los tipos de colisiones en los que se realizan las pruebas de medición.
- Validar el procedimiento obtenido para la medición del desempeño de las partes reparadas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

La carrocería es el elemento más antiguo del automóvil y años después el motor, fue inventado por los Italianos en el siglo XVIII que posteriormente los franceses transformaron en uno de los productos industriales más importantes para el transporte de personas, para resguardar las inclemencias del tiempo donde toma la forma independiente en las habilidades, destrezas e ingenio entre el carpintero y el ebanista para evitar el movimiento de vaivén de los caminos.

Las carrocerías inicialmente eran de madera y su construcción encomendado a los carpinteros a partir de los años veinte se emplea la chapa de acero, material que se mantienen hasta el momento; un automóvil se divide en 2 partes fundamentales, siendo la parte mecánica y la carrocería con sus conjuntos agregados.

La distribución básica de la carrocería está constituida por 3 volúmenes principales así: En la parte delantera está el motor, elementos de suspensión y transmisión en el centro se sitúa el habitáculo para el conductor y pasajeros equipado de asientos; y el posterior destinado a maletero para el equipaje como se muestra en la figura 2.1.

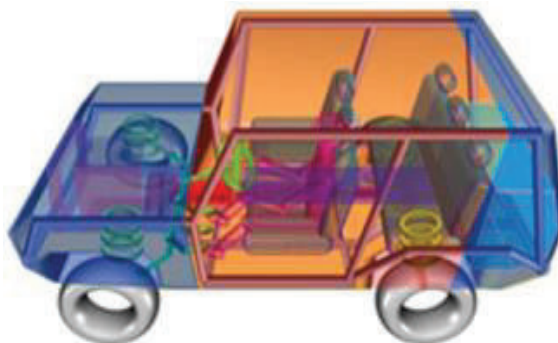


Figura 2.1. Distribución básica de la carrocería

Fuente: Autastec.com, funciones de la carrocería. <http://autastec.com/cursos/nivel-basico/1-5-1-funciones-de-la-carroceria/>

La carrocería mediante la robustez es la encargada de soportar todos los esfuerzos, golpes y vibraciones que son propios de un automóvil en movimiento y además es el complemento de las líneas de belleza y acabado que hacen un producto terminado y atractivo a la colectividad.

La carrocería no debe sufrir averías o deformaciones en condiciones normales de funcionamiento, para las compañías de seguros es importante las deformaciones que se originan como resultado de golpes o impactos fuertes contra otros automóviles u objetos debido a una inmensidad de causas que van desde el mal estado de la carretera hasta la falta de destreza del conductor. Si la lámina de la carrocería es afectada se debe proceder a la reparación o sustitución, siendo a su vez con la misma perfección de acabado y color que todos los componentes.

2.1.1. HISTORIA DE LAS CARROCERÍAS

De la investigación se desprende que las carrocerías tuvieron su inicio el 23 de octubre de 1769, cuando el francés Nicolás José Cugnot requería remolcar cañones pesados, y para cumplir con el propósito colocó y adecuó a un carruaje un motor a vapor; los trabajos no continuaron debido a que el gobierno no encontró beneficio militar. En 1770 se construyó un segundo modelo renovado respecto al anterior y en 1771 construyó una tercera versión y con el invento de Nikolas August Otto del motor de combustión interna de 4 tiempos en 1876 llegó a su fin la época del vapor.

En 1895 las carrocerías de los vehículos movidos por tracción animal eran abiertas ya que no se podían sobrecargar. En 1897 la empresa Benz fabrica el coche 1000 y se convierte en el constructor más grande y antiguo; en 1898 Louis Renault construye su primer vehículo y funda una de las empresas más prestigiosas de la industria del automóvil. ^[1]

¹ Garbi Rodríguez, Alejandro. *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. (2014). Recuperado de <https://alexgarbi93.wordpress.com/.../tema-2-carrocerias-de-vehiculos-tip...> (Noviembre 2014)

En el año 1900 fue comercializada la primera carrocería cerrada, la cual protegía de los agentes atmosféricos al conductor y copiloto, entre 1900 y 1914 el aluminio sustituye a la madera especialmente en los lugares de gran curvatura donde es difícil de trabajar.

En 1903 Henry Ford crea la empresa Ford Motor Company en Detroit, Estados Unidos iniciando la construcción la primera serie con el modelo A; en 1920 aparece el primer SEDAN y en 1926 por primera vez aparece el modelo T Coupe de la Ford.

En 1927 fue construida la primera carrocería con estructura de acero y a partir de 1930 las compañías emprenden su producción de forma masiva utilizando la hoja de acero como material principal. Así el primer vehículo autoportante aparece en 1934 construido a base de láminas cortadas y estampadas sobre el bastidor constituido por largueros y travesaños; y hacia 1967 aparece el primer automóvil con carrocería construido totalmente con materiales de plástico.

2.1.2. EVOLUCIÓN DE LAS CARROCERÍAS

Se han desarrollado hacia medios rígidos y ligeros en función del diseño y forma de las estructuras, ello hace que los vehículos posean; buena habitabilidad, menor coeficiente aerodinámico, facilidad de manejo a elevadas velocidades, resguardo del habitáculo en caso de colisión.

Inicialmente la construcción de las carrocerías fue en madera y su manipulación encomendado a los carpinteros especializados, a partir de 1920 se inicia el empleo de la lámina de acero y el oficio cambia de manos, ahora a los conocidos como chapistas, escenario que se conserva hasta la actualidad. El modelo tomado como referencia para estas estructuras, es el de los de tracción animal manteniendo la misma simetría como se muestra en la figura 2.2, así el primer avance fue la sustitución de los

largueros de madera por chapa de acero lo cual admiten mejor los progresivos aumentos de potencia del motor; donde se evitaba la forma redondeada debido a que se debía deformar a mano la lámina, empleándose para paneles y elementos automotrices externos.



Figura 2.2. Carrocería de tracción animal

Fuente: Historia de las Carrocerías (2008). http://elchapista.com/carrocerias_historia.html (Noviembre 2014)

Henry Ford en 1913 estableció en sus plantas cintas de embalaje móviles que permitan un incremento en la producción del coche terminado mediante la estandarización del producto.

En 1927 se implantó carrocerías con estructura de acero y refuerzos de madera y a partir de 1930 las compañías fabricantes de automóviles iniciaron su producción de forma masiva con la utilización de la lámina de acero, originado por el incremento de la demanda del consumidor. Véase figura 2.3.



Figura 2.3. Carrocería con estructura de acero

Fuente: Historia de las carrocerías. (2008). Recuperado http://elchapista.com/carrocerias_historia.html (Octubre 2014)

En 1934 se presentó comercialmente el Citroën Tracción Avante, con carrocería autoportante y fabricada con chapa de acero como se indica en la figura 2.4.



Figura 2.4. Carrocería Autoportante

Los soportes delantero, central y posterior proporcionaron rigidez y resistencia a los demás elementos de la estructura autoportante al integrar el cuerpo entre el techo y suelo; y los largueros ensamblan el suelo con las columnas.

2.2. TIPOS DE CARROCERÍAS

Las carrocerías han evolucionado a través del tiempo hacia sistemas más rígidos y ligeros, como también sistemas anticorrosivos, diseño y forma de la estructura todo ello da origen a una buena rigidez y protección para el habitáculo de pasajeros dando un elevado índice de seguridad, incluso ante colisiones considerables. ^[2]

2.2.1. CARROCERÍAS Y CHASIS SEPARADOS

El sistema es el más sencillo y antiguo de los primeros automóviles, sin embargo se usa todavía en la producción de autocares, todo terreno, camiones, y automóviles con carrocería de fibra o similares, está formado por bastidor y carrocería.

² *Manual del Automóvil*. (2003). (ediciones CEAC). Barcelona, España: CEAC. (P. 849).

2.2.1.1. Bastidor

Es el armazón sobre el que se montan y sujetan todos los mecanismos, soportan el peso de los distintos elementos tales como: motor, caja de cambios, dirección, y elementos elásticos como suspensión y ruedas. Consiste en dos vigas (largueros) de acero que se acercan entre sí por medio de travesaños con perfil en U, en L, doble T, redonda, rectangular o cuadrada unidas mediante soldadura, remaches o tornillos. ^[3] como se indica en la figura 2.5.

La distancia entre ejes delantero y trasero se llama batalla y la separación entre las dos ruedas de un mismo eje se denomina vía. Para el proceso de construcción deben seguirse dos normas: ligereza e indeformabilidad, los largueros tienen que soportar el peso de los distintos mecanismos, directamente o por medio de los travesaños, ello implica que están sometidos a esfuerzos constantes de flexión que aumentan con los golpes del sistema de suspensión como también están sometidos a esfuerzos torsionales cuando el vehículo circula por carreteras de firme irregular.



Figura 2.5. Bastidor

Fuente: Carrocerías y Chasis. (2008). Recuperado http://www.elchapista.com/chasis_carrocerias_vehiculos.html (Noviembre 2014)

³ Alonso, J. M. (2002). *Técnicas del Automóvil. Chasis*. (7ma. ed.). Madrid, España: Thomson paraninfo. (P. 15).

2.2.1.2. Carrocería

Forma un conjunto independiente que se monta y desmonta al bastidor mediante tornillos por intermedio de juntas de caucho, por lo general se emplean materiales como acero, aluminio por ser más ligero y no se oxida y plástico reforzado con fibra de vidrio. Las ventajas que presenta es para un mismo modelo de bastidor se puede colocar diferentes modelos de carrocerías es decir turismo, furgoneta o familiar; forma un conjunto robusto apto para soportar peso y absorbe los golpes y vibraciones. Los inconvenientes es: peso elevado, alto costo y dificultad de obtener centros de gravedad bajos.

2.2.2. MONOCASCO AUTOPORTANTE

Se emplea preferentemente en automóviles cerrados (berlinas), el bastidor está integrado en la misma estructura de la carrocería, es el más utilizado en la actualidad por las empresas fabricantes de automóviles; son estables, más rígidas, ligeras, menor peso del conjunto y flexibles para absorción de energía en el caso de choque, las partes que forman el habitáculo de pasajeros se hallan especialmente reforzados por medio de una estructura de protección que asegura mayor resistencia, pueden elaborarse en serie con mayor perfección, costo más bajo y alto grado de mecanización.

En cuanto a seguridad, las carrocerías se construyen formando un cuerpo central para alojar a los ocupantes, protegido por dos cuerpos (delantero y trasero), capaces de absorber la energía desarrollada en un choque, por lo que existen partes débiles y fuertes para que la deformación se produzca progresivamente y en los lugares adecuados y que los pasajeros estén bien protegidos en caso de colisión reduciendo así la violencia del golpe, ello identifica que en la parte delantera como trasera hay zonas de deformación progresiva que absorben la energía cinética de los choques, preservando el habitáculo.

La estructura es soldada a base de elementos de lámina y perfiles de acero, no se puede recortar o suprimir ningún elemento ya que la rigidez disminuye y por ende la seguridad como se ilustra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Carrocería monocasco

Fuente: Sánchez Sergio. (2014). Recuperado <http://sergiosanchez13.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y.html> (Noviembre 2014)

2.2.3. CARROCERÍA TUBULAR

Denominado también como súper ligera donde la estructura principal está construida con una red de tubos finos soldados, dando la forma requerida y cubiertos con láminas metálicas tales como aluminio o magnesio, así ofrece gran rigidez, resistencia y bajo peso, la construcción es laboriosa y costo alto, se utiliza en modelos deportivos contruidos a mano como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7. Carrocería tubular

Fuente: Delgado Gonzales Alfonso. Carrocerías de Vehículos. (2013). <https://alfonsodg7.wordpress.com/2013/10/20/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y-componentes/> (Noviembre 2014)

2.2.4. DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES EN UN AUTOMÓVIL

En un automóvil según el número de volúmenes o cuerpos se distinguen: monovolúmenes, bi – volumen, y tri – volumen.

2.2.4.1. Monovolumen



Figura 2.8. Carrocería monovolumen

Fuente: Escuela Politécnica Nacional. El Automóvil, Manual de mantenimiento automotriz. Departamento de conversión y usos de la energía (P. 5).

La figura 2.8 presenta una carrocería en la que no se aprecia más de un volumen, donde la zona del motor, compartimiento y equipaje están integrados totalmente; un monovolumen frecuentemente tiene 2 o 3 filas de asientos y es más alto que un automóvil de turismo.

2.2.4.2. Bi-volumen



Figura 2.9. Carrocería Bi – volumen

La figura 2.9 muestra una carrocería conocida como dos cuerpos donde se diferencian dos volúmenes independientes, uno para el capó con el motor y otro para el habitáculo de conductor, pasajeros y equipaje, normalmente tienen una quinta puerta.

2.2.4.3. Tri-volumen

Es una carrocería donde se distingue 3 volúmenes: uno para el capó con el motor, el segundo para el habitáculo del conductor y pasajeros y un tercer volumen para la carga o equipaje, casi siempre son automóviles sedan véase figura 2.10.



Figura 2.10. Carrocería Tri – volumen

Fuente: Weber, Julián. (2009). Automotive Development processes Springer – Verlag Berlin Heidelberg. (P. 82).

2.2.5. IDENTIFICACIÓN DE UN VEHÍCULO

Hasta 1980 no había una norma clara por parte de los constructores que determine los vehículos de forma homogénea, cada fabricante tenía su propia regla para identificar a los automóviles que salían de sus empresas. La cual consiste en marcar a todo automóvil para distinguir unos de otros que pueden ser semejantes a nivel mundial y pueda ser como único.

La identificación sirve para la revisión física, seguridad y características técnicas como: país donde procede, año de construcción y si no está manipulado. Va impreso o

remachado sobre una placa que puede fijarse en un lugar definido y de fácil acceso sobre un elemento que normalmente no vaya a ser sustituido, como: borde inferior del parabrisas, puerta del conductor o sobre el tablero bajo el parabrisas. También permite proteger de robos, manipulación o alteración y asegura por un periodo de aproximadamente 30 años.

La norma ISO 3779 de la organización internacional para la estandarización, permite definir un código de bastidor o número de identificación vehicular (VIN), es la combinación de 17 caracteres alfanuméricos que permite a todos los constructores a seguir un mismo criterio al momento de identificar sus unidades, donde cada posición es un dato técnico y de seguridad de cada vehículo a nivel del mundo, cumpliendo con varias normas y mediante una inspección visual que no esté alterado o no haya sido manipulado.

El VIN se configura en tres secciones identificadas por las abreviaturas inglesas siguientes como se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Identificación de un vehículo

Estándar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ISO 3779	WMI			VDS						VIS							

- WMI: Identificación Mundial del Constructor, son 3 dígitos que determinan el país fabricante, la marca del vehículo y fabricante.
- VDS: Identificación del Modelo del Vehículo, está formado por 6 dígitos determinan el equipamiento y las características generales del vehículo.
- VIS: Integra 8 dígitos, incluye el número de serie de fabricación de cada vehículo y los 4 últimos son siempre números, véase tabla 2.2.

Tabla 2.2. Subidentificadores WMI, VDS y VIS

VIN ^[4]				
WMI	+	VDS	+	VIS
3 dígitos	+	6 dígitos	+	8 dígitos
TOTAL 17 dígitos				

Los dígitos VIN se determinan de la siguiente manera:

- Primero (1): Región donde es fabricado el automóvil
- Segundo (2): País de fabricación
- Tercero (3): Fabricante del automóvil dentro del país
- Cuarto (4): Plataforma del automóvil
- Quinto (5): Tipo de carrocería (body style)
- Sexto (6): Serie de fabricación
- Séptimo (7): Tipo de motor (engine type)
- Octavo (8): Equipamiento de seguridad
- Noveno (9): Código de chequeo
- Décimo (10): Año de fabricación
- Decimoprimer (11): Código de planta
- Decimosegundo (12) al decimoséptimo (17): Secuencia numérica de fabricación

2.2.6. MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN

- A) CLASE: Sirve para diferenciar dentro del parque automotor de acuerdo con las leyes y reglamentos de cada país
- B) MARCA: Es el nombre que el fabricante le designa a su producto
- C) MODELO: Sirve para diferenciar dentro de su grupo, el modelo es comercial y técnico, por su estilo representa a la marca.

⁴ NTN INEN –ISO 4030. (2005). *Vehículos automotores de identificación del vehículo (VIN) ubicación y colocación*. (primera edición). Quito, Ecuador.

D) TIPO: Se refiere exclusivamente a la carrocería del vehículo

E) COLOR: La pintura presenta 4 capas, sin cromato (anticorrosivo), capa de base, segunda capa, pintado color.

F) AÑO: Está codificado dentro del VIN, números de serie, de motor y confidenciales.

2.2.7. NORMATIVA

Los elementos identificadores de los vehículos referente a la legislación en vigor señala que la directiva 78/507/CEE de 19 de mayo de 1978, referente a la aproximación de regulaciones de los estados miembros sobre las placas e inscripciones reglamentarias, así como a su emplazamiento y modo de colocación en los vehículos a motor y sus remolques, es de aplicación actual para todos los estados miembros de la comunidad Europea desde el 1 de octubre de 1978.

No obstante la aplicación real de esta directiva se establece a partir del 1 de octubre de 1981, en que los estados miembros podrán prohibir la puesta en circulación de los vehículos cuyas placas e inscripciones reglamentarias no cumplan las prescripciones de dicha directiva comunitaria.

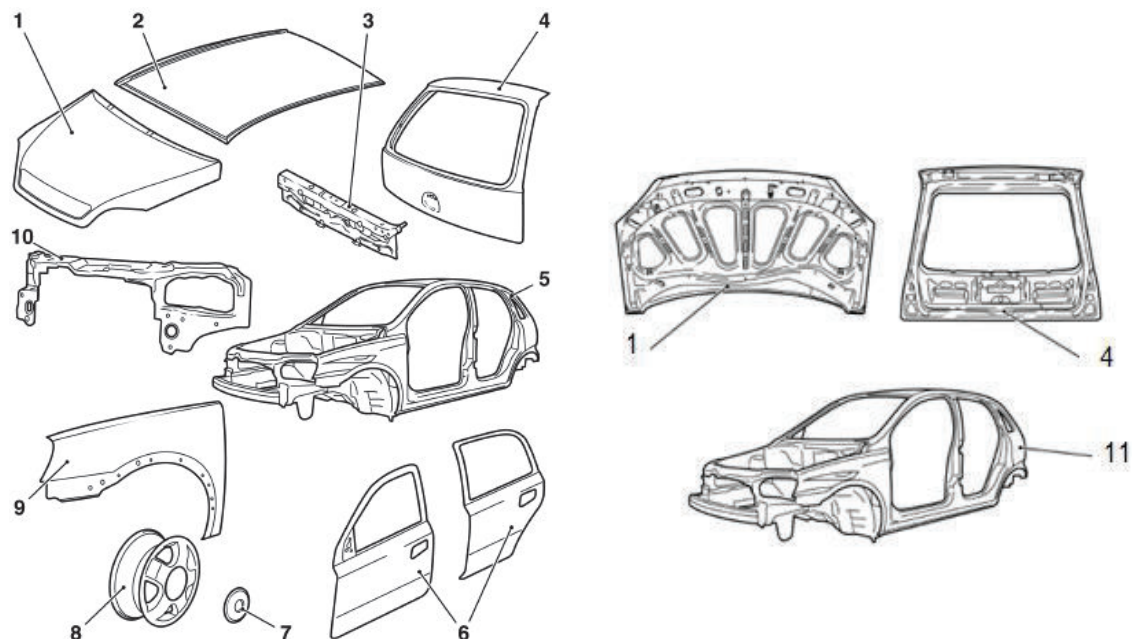
2.3. COMPONENTES DE LA CARROCERÍA

La estructura de la carrocería contiene partes débiles y partes fuertes, para que la deformación se produzca progresivamente y en los lugares más adecuados a lo largo de una trayectoria bien definida y que los pasajeros queden protegidos en caso de colisión frontal, lateral y trasera, reduciéndose así la violencia del golpe. ^[5] La carrocería de un automóvil está compuesta por los siguientes elementos:

⁵ Alonso J. M. (2002). *Técnicas del Automóvil Chasis* (7ma. ed.). Madrid, España: Paraninfo S. A. (P. 19).

2.3.1. ELEMENTOS INTERNOS DE LA CARROCERÍA ^[6]

Suelen quedar ocultos por los elementos externos entre ellos los accesorios, tapizados, actúan como componentes estructurales soportando los esfuerzos estáticos como: peso del automóvil, ocupantes, mercadería y esfuerzos dinámicos generados por las aceleraciones y frenadas. Véase figura 2.11.



1 Capó, 2 Techo del vehículo, 3 Panel trasero, 4 Tapa del panel trasero, 5 paneles laterales, 6 puertas, 7 tapacubos, 8 Ruedas, 9 guardabarros, 10 Deflector superior, 11 habitáculo.

Figura 2.11. Componentes de la carrocería

Fuente: Corsa Evo. (2002). Manual de taller. (P.p. 157, 158).

2.3.1.1. Techo

Es un elemento de gran superficie que se coloca en la parte más elevada de la carrocería apoyándose sobre los laterales del habitáculo y el arco frontal del parabrisas por delante y luneta por detrás, es importante en la rigidez del conjunto por lo que la unión es por soldadura por puntos.

⁶ De Castro, Vicente. (1991). *Carrocería y Pintura*. (3era. ed.). Barcelona, España: CEAC. (P. 28).

2.3.1.2. Largueros

Es uno de los elementos más importantes de la carrocería, está ubicado longitudinalmente en forma de viga tubular o rectangular formando el soporte lateral y rigidez del piso de la carrocería, abarcan de extremo a extremo del automóvil.

2.3.1.3. Travesaños

Son elementos transversales en forma de vigas de refuerzo aumenta la rigidez de los largueros, se encuentran en los largueros inferiores del piso y superiores.

2.3.1.4. Traviesas

Actúan como elemento de reforzamiento entre los travesaños, unen los largueros entre sí en la zona delantera en el piso para dar mejor sujeción al motor, su labor es de menor importancia.

2.3.1.5. Montantes

Son elementos de plancha verticales que se unen a las columnas constituyendo un cuerpo con ellos, portan las bisagras de las puertas, reciben el nombre de la posición que ocupan en muchos tipos de carrocerías forman un solo componente con los pilares llamándose pilares, son robustos soportan la estructura del techo desde el piso.

2.3.1.6. Pilares

Robustecen lateralmente la estructura y junto con los largueros del techo forman el arco del habitáculo, se ensamblan a los montantes y forman la estructura fundamental que le da rigidez al automóvil.

2.3.1.7. Cimbras

Constituyen la prolongación superior de los pilares, formando un arco que pasa por debajo del techo y resguarda en caso de volteo.

2.3.1.8. Estribos

Son elementos esenciales en la protección de los pasajeros en caso de choque lateral, se sitúan longitudinalmente a los dos lados del piso del habitáculo, están formados por elementos internos y externos con el propósito de incrementar su resistencia, se unen por delante a los pilares delantero y central, por detrás al pilar central y aletas traseras.

2.3.1.9. Piso del habitáculo (Suelo)

Está constituido por láminas de acero que suministran rigidez a la estructura, soportan los esfuerzos que recaen sobre él, se divide en dos partes emplazadas a los dos lados del túnel central, completándose en forma transversal con los anclajes de los asientos y en algunos casos con un travesaño central entre pilares.

2.3.2. ELEMENTOS EXTERNOS DE LA CARROCERÍA

Está constituido por elementos que determinan el aspecto decorativo, son visibles y forman la parte exterior de la carrocería, su función es la aerodinámica, rigidez, belleza y seguridad del automóvil entre ellos las puertas, capó, aletas, guardabarros.

2.3.2.1. Puertas

Incorporan barras de defensa lateral interiores de acero o aluminio, cierran el habitáculo de la carrocería, y presentan un perfecto ajuste a los pilares, estribos y montantes del techo, las bisagras y cerraduras están reforzadas.

2.3.2.2. Capó

Denominado también tapa o cerramiento superior del motor de combustión interna, dispone de una estructura individual para lograr una deformación programada en caso de colisión y no afectar a los ocupantes.

2.3.2.3. Guardabarros

Se denomina guardafangos o aletas, son elementos de lámina exterior que constituyen un carenado alrededor de las ruedas para evitar durante el giro, determina también la calidad aerodinámica de la carrocería.

Se identifica de acuerdo a la rueda que la protegen ejemplo aleta delantera derecha o izquierda o aleta posterior derecha o izquierda, las delanteras pueden ser desmontables unidas por medio de tornillos o fijos por soldadura

2.3.2.4. Frente delantero

Consiste en un elemento transversal que robustece y articula entre sí a las aletas delanteras, consta de orificios para admitir el movimiento del aire.

2.3.2.5. Túnel central

Mejora la resistencia a la flexión en sentido longitudinal junto con las traviesas, está en el piso del habitáculo zona central desde la parte delantera a la posterior, actúan como faja de apoyo para los asientos y cinturones de seguridad.

2.3.2.6. Chapa salpicadero

Actúa como separador entre el compartimiento del motor y el habitáculo, su función es impedir la entrada de elementos mecánicos hacia él, en caso de impacto frontal.

La unión es por soldadura entre el piso al túnel central y a los pilares delanteros. Aumenta la resistencia a la torsión y previene en caso de colisión lateral.

2.4. JAULA DE SEGURIDAD ^[7]

Conocido también como Jaula Anti vuelcos, su función es mantener o proteger la integridad física de los ocupantes durante una colisión o vuelco. Es un arco metálico que se edifica dentro o alrededor de la cabina de un automóvil el cual protege a los ocupantes durante un accidente especialmente en vuelcos o choque; son empleados en los vehículos de carreras y modificados para competiciones.

Se construyen para desarrollar el arco frente al conductor y proteger a altas velocidades, se complementa con un arco antivuelco que se extiende por arriba del casco del piloto justo detrás de la cabeza incrementando así la rigidez del chasis en los autos de competencia como se observa en la figura 2.12.



Figura 2.12. Jaula de seguridad

Fuente: Real Federación Española de automovilismo, Jaulas de seguridad para carrocerías. (P.p. 27, 29).

⁷ Brambati, Gustavo. De Jorge Hernan. (2011). *Jaulas internas y barras externas antivuelco para camionetas pick – up*. Petrotecnia junio. (P. 67).

El habitáculo de pasajeros es la zona principal, debe ser indeformable y cumplir con estándares nacionales e internacionales exigidos en las pruebas de impacto.

2.4.1. ARCO ANTIVUELCO

Está constituido por un par de barras redondas colocadas detrás de los asientos del conductor y acompañante en algunos casos se instala solo atrás del conductor, los arcos son determinados en el diseño o en otros casos son adaptados.

Otra forma de protección antivuelco son los arcos desplegable, los cuales están escondidos y actúan cuando los sensores detectan un posible vuelco automáticamente se despliegan y los aseguran en su lugar, ejemplo automóvil Peugeot 307c, Mercedes Benz clase SL y el jaguar XK como se muestra en la figura 2.13.

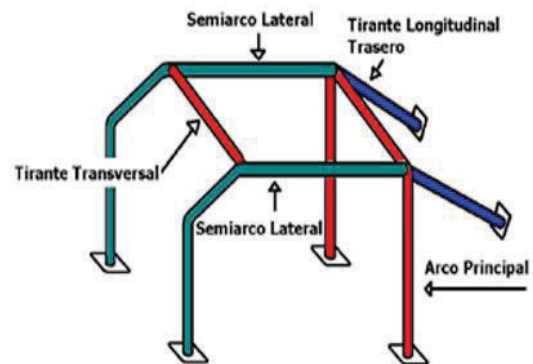


Figura 2.13. Arco antivuelco

Fuente: Real Federación Española de Automovilismo. Jaulas de Seguridad para Carrocerías. (P. 3).

2.5. DEFORMACIÓN PROGRAMADA

Las carrocerías durante la historia han experimentado avances tecnológicos, la deformación programada de la carrocería marca un antes y un después como elemento de seguridad pasiva, actualmente se diseña de manera que se deforme protegiendo el habitáculo y a los ocupantes.



Figura 2.14. Deformación programada

El diseño de la carrocería debe estar encaminado a proteger a los ocupantes, esto es durante una colisión sobre objetos u obstáculos rígidos, se produzca una deformación progresiva de sus elementos tanto delantero como posterior y se mantenga el habitáculo intacto mediante la absorción de energía y distribución de cargas hacia los demás elementos como se muestra en la figura 2.14.

En la actualidad los automóviles están formados por dos sectores siendo uno débil o blando y otro rígido o duro, el primero absorbe la energía de la colisión y la segunda protege a los ocupantes, manteniendo su integridad en concordancia con los sistemas de seguridad pasiva, lo más significativo es evitar la penetración de elementos externos o internos (motor, caja de cambios, bases, pedales, ventilador, etc.).

Consiste en sacrificar los elementos de la carrocería perimetrales al habitáculo absorbiendo la energía generada en una colisión. Los elementos estructurales que tienen deformación programada son aquellos que soportan la mayor parte de los esfuerzos siendo los más relevantes:

2.5.1. LARGUEROS

Son elementos longitudinales en forma de viga tubular de sección generalmente rectangular, su función absorber energía, están ubicados en el piso en forma paralela siendo delanteros, traseros, superiores e inferiores.

2.5.1.1. Largueros delanteros

Absorben la mayor cantidad de energía durante una colisión frontal, está formado por 2 vigas paralelas que parten del travesaño delantero. La deformación se produce en los extremos delanteros de los largueros de forma que se pliega sobre sí mismo como se indica en la figura 2.15.

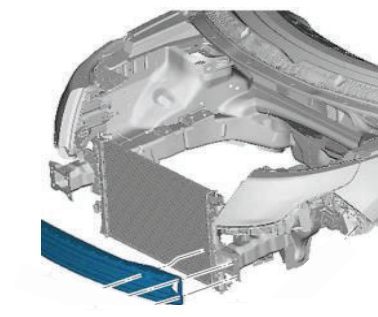


Figura 2.15. Largueros delanteros

Fuente: PTS. Ford, 501-19 Bumpers

2.5.1.2. Largueros Traseros

Su función absorber energía en los impactos posteriores y conservar en forma íntegra el depósito de combustible como se muestra en la figura 2.16.

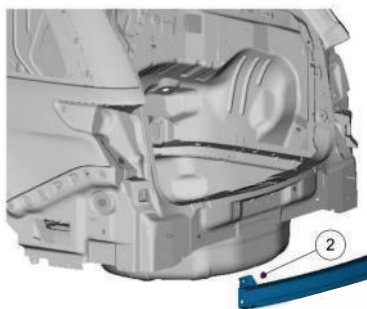


Figura 2.16. Largueros posteriores

Fuente: PTS. Ford, 501-19 Bumpers

2.5.1.3. Largueros Superiores

Generalmente se encuentran sobre los refuerzos de los montantes delanteros, protegen de las deformaciones al habitáculo de manera que el larguero se comprima por sí mismo como se observa en la figura 2.17.

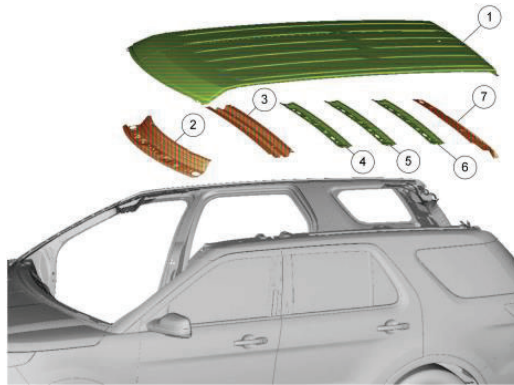


Figura 2.17. Largueros superiores

Fuente: PTS. Ford, 501-35 Body repairs

2.5.1.4. Largueros Inferiores

Mantienen las zonas de deformación programada, los elementos de gran tamaño aumentan la rigidez de las zonas críticas y el conjunto de la estructura como se indica en la figura 2.18.

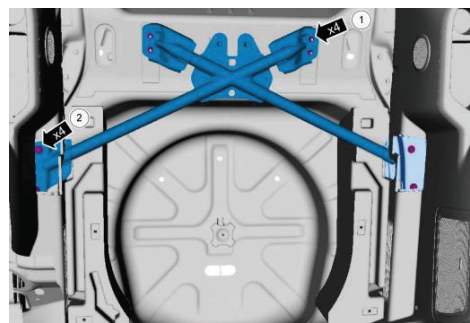


Figura 2.18. Largueros inferiores

Fuente: PTS. Ford, 501-35 Body repairs

2.5.2. TRAVESAÑO DELANTERO

Su función es la de repartir las cargas de tal manera que la deformación se distribuya uniformemente en toda la estructura, es muy rígido y une a los largueros delanteros como se muestra en la figura 2.19.



Figura 2.19. Travesaño delantero
Fuente: PTS. Ford, 501-02 Front end body panels

2.5.3. ESTRUCTURA DELANTERA

Los largueros delanteros están diseñados de forma que se doblen y absorban la energía durante una colisión, y unidos con uno o dos travesaños distribuyen la carga de la colisión sobre el frontal, con un buen diseño del capó y los ejes de rueda se perfeccionan notablemente las consecuencias frente a impactos contra paredes, postes, obstáculos rígidos u objetos deformables como se ilustra en la figura 2.20.

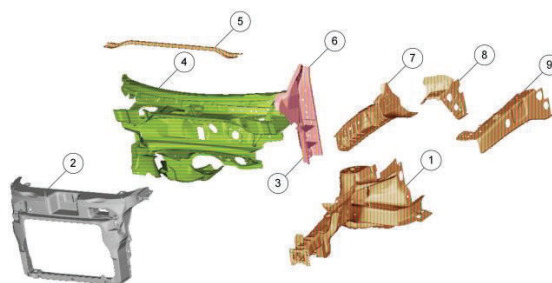


Figura 2.20. Estructura delantera
Fuente: PTS. Ford, 501-35 Body repairs

2.5.4. HABITÁCULO

Por diseño y construcción es rígido se debe a la distribución de sus elementos, así los refuerzos de las puertas y montantes elevan la resistencia al aplastamiento como se observa en la figura 2.21.

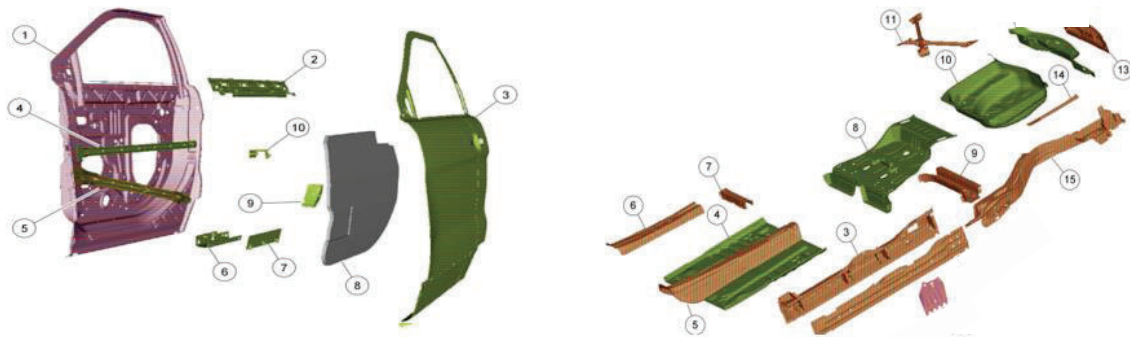


Figura 2.21. Habitáculo

Fuente: PTS. Ford, 501-35 Body repairs

2.5.5. PROTECCIONES LATERALES

Durante una colisión lateral la deformación programada no es `dable ya que los elementos laterales son débiles y el espacio entre puertas y ocupantes es pequeño, véase figura 2.22.

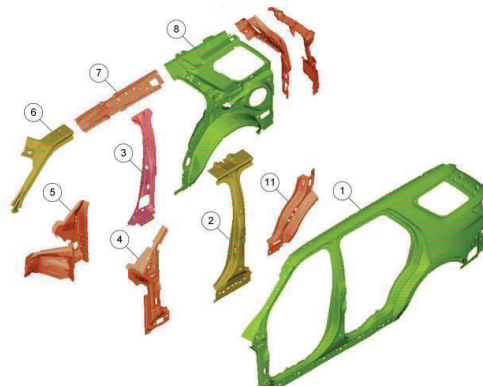


Figura 2.22. Protecciones laterales

Fuente: PTS. Ford, 501-35 Body repairs

2.5.6. PARACHOQUES

Generalmente son de plástico como se indica en la figura 2.23, por su ligereza admiten deformaciones y regresan a su estado normal a velocidad moderada, ello determina reducción de peso del automóvil como también reduce los daños materiales en choques de bajo rendimiento.

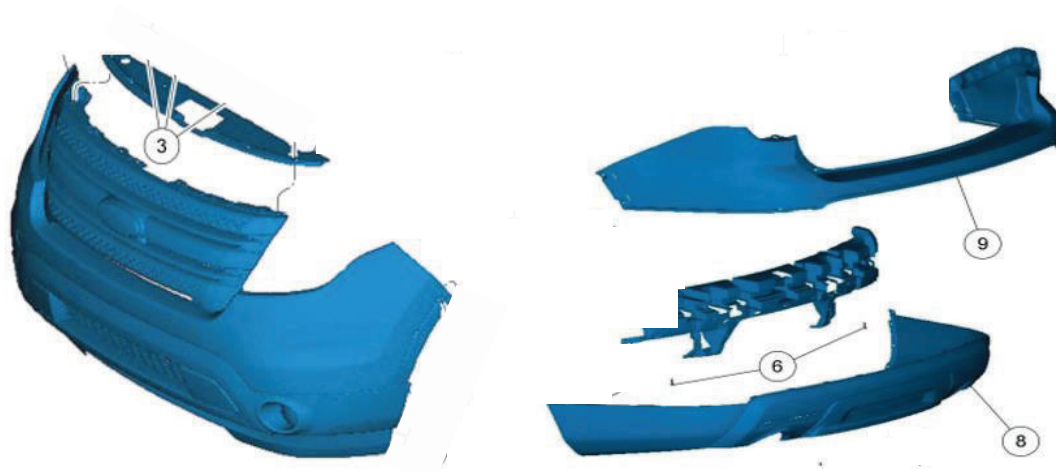


Figura 2.23. Parachoques delantero y posterior.

Fuente: PTS. Ford, 501-19 Bumpers

2.6. VARIANTES DEL SISTEMA

Los accidentes frecuentemente pueden ser por colisiones sea frontal, lateral o volcamiento, para salvaguardar la vida de los ocupantes los elementos a diseñar y construir debe tomarse en cuenta la deformación programada, donde determinen los efectos y características que posteriormente permitan ser reparado, sin lugar a duda mediante un estudio de sus condiciones de cada uno de ellos.

2.6.1. ENERGÍA DE DEFORMACIÓN

Al producirse el impacto del vehículo con los elementos externos, cualesquiera que fuera. El trabajo externo aplicado sobre los elementos elásticos se transforma en energía de deformación o potencial. Si el elemento se deforma a una distancia y , esta energía es igual al producto de fuerza promedio y la deflexión por tanto la energía potencial almacenada en un elemento deformado se determina con la ecuación 2.1.

$$U = \frac{Fy}{2} = \frac{F^2}{2K} \quad [2.1]$$

Donde:

F: Fuerza media

- y: Deformación
 K: Constante del material $K = AE/L$

Sustituyendo K, la energía de deformación para tensión y compresión es como se indica en la ecuación 2.2.

$$U = \frac{F^2 L}{2AE} \quad [8] \quad [2.2]$$

Donde:

- A: Área
 E: Módulo de elasticidad longitudinal
 L: Longitud

2.6.2. EFECTO DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL

Son fundamentales las propiedades de elasticidad y plasticidad, el material predominantemente usado en la fabricación de carrocerías de automóviles es el acero y en menor cantidad el aluminio, plástico y vidrio.

2.6.2.1. Elasticidad

Reversible o no permanente es la propiedad de los materiales que pueden recuperar su forma y dimensiones originales, cuando se anula la carga que la deformaba

2.6.2.2. Deformación plástica

Irreversible o permanente el material no retorna a su forma original después de suspender la carga utilizada a temperatura ambiente, el material experimenta cambios

⁸ Shigley Joseph E, Mischke Charles R. (2003). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta. ed.). México: McGraw-Hill. (P.P. 181, 195).

termodinámicos irreversibles (formas diferentes) una vez superado el límite elástico, sin llegar al punto de rotura.

En un accidente la deformación plástica del material se realiza en frío donde la estructura granular sufre cambios, por lo tanto también sus propiedades físicas, químicas y mecánicas; parámetros importantes a tomar en cuenta en el proceso de reparación de los elementos de la carrocería.

2.6.3. FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA COLISIÓN

Las fuerzas actuantes durante un impacto hacen desviar el seguimiento de la trayectoria estas pueden ser externas e internas.

Las fuerzas externas en la trayectoria de movimiento del automóvil se producen fuerzas debido a la oposición de obstáculos en la calzada de forma lateral o frontal.

Las fuerzas Internas se producen por inercia de los ocupantes del vehículo, la masa y velocidad del vehículo.

La concentración del conductor es muy importante y esté libre de dificultades, distracciones internas como externas y estado de ánimo.

2.6.4. IMPACTO

Ocurre cuando dos cuerpos en movimiento entran en colisión entre sí, durante un periodo de tiempo muy corto, ocasionando que grandes fuerzas (impulsivas) sean ejercidas entre los cuerpos.

El uso más común se refiere a los accidentes en los que dos o más vehículos colisionan simultáneamente causando un cambio en el movimiento de los vehículos involucrados debido a las fuerzas internas entre ellos.

2.6.4.1. Impacto central

Ocurre cuando la dirección del movimiento de los centros de masa de las dos partículas (automóviles) es a lo largo de una línea que pasa a través de los centros de masa de las partículas (automóviles).

Durante la colisión los vehículos se consideran deformables, donde el impulso de deformación es igual pero opuesto entre sí llegando a la deformación máxima. Al respecto la cantidad de movimiento del sistema de partículas (automóviles) se conserva puesto que durante la colisión los impulsos internos de deformación y restitución se cancelan, la conservación del momento lineal como se indica en la ecuación 2.3.

$$m_A (V_A)_1 + m_B (V_B)_1 = m_A (V_A)_2 + m_B (V_B)_2. \quad [9] \quad [2.3]$$

Donde:

m: Masa de los vehículos

V₁: Velocidad antes del impacto

V₂: Velocidad después del impacto

2.6.4.2. Coeficiente de restitución (e)

Después de la colisión ocurre un periodo de restitución donde los elementos retornan a su forma original o quedan deformados permanentemente.

$$e = \frac{(V_B)_2 - (V_A)_2}{(V_A)_1 - (V_B)_1} \quad [10] \quad [2.4]$$

⁹ Beer, Ferdinand P. Johnston, Russel Jr. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica*. (7ma. ed.). México: McGraw Hill interamericana. (P. 820).

¹⁰ Hibbeler, Russell C. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica*. (12va. ed.). México: Prentice Hall. (P. 249).

Varía con la velocidad de impacto así como con el tamaño y la forma de los vehículos en colisión, tiene un valor entre cero y uno. Las colisiones pueden ser: elásticas o inelásticas.

- a) Impacto Elástico ($e = 1$), conservan tanto el impulso como la energía cinética
- b) Impacto Plástico ($e = 0$), conserva el momento, pero no la energía cinética posterior a la colisión en la que los dos vehículos permanecen unidos entre sí con una velocidad común.

2.6.4.3. Impacto oblicuo

Cuando entre dos partículas (automóviles) ocurre un impacto oblicuo, éstas se apartan una de otra con velocidades de direcciones y magnitudes desconocidas. ^[11]

2.7. ESTADÍSTICAS POR TIPO DE COLISIÓN

Los accidentes se diferencian en función de lo ocurrido, los de tipo simple donde intervienen un vehículo, un múltiple intervienen dos o más vehículos y un vehículo con un peatón u obstáculo; dando lugar a volcamiento, colisión frontal o lateral, despiste, salto, etc.

2.7.1. VOLCAMIENTO

Es cuando el vehículo se apoya sobre las ruedas de un lado girando en sentido transversal a la dirección del movimiento sea a izquierda o derecha. Si ha girado 90° está sobre el costado de la posición normal de desplazamiento, 180° queda sobre el techo, 270° ha girado $\frac{3}{4}$ de vuelta respecto a la posición normal y una vuelta ha quedado en la posición normal.

¹¹ Hibbeler R. C. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica*. (12va. ed.). México: Prentice Hall (P. 251).

2.7.2. SALTO

Es la pérdida momentánea del contacto de los neumáticos con la calzada y que luego continúa en la posición normal de movimiento.

2.7.3. COLISIÓN FRONTAL

Se produce entre dos vehículos en movimiento con los elementos frontales, pueden ser centrales si los ejes longitudinales coinciden y oblicuos si los ejes no coinciden durante el impacto.

2.7.4. COLISION LATERAL

Se produce entre dos vehículos en movimiento el uno con elementos frontales y el otro con elementos laterales de la carrocería, los ejes no coinciden en línea recta, siendo el ángulo de impacto mayor a 0° y menor a 180° .

2.8. CAUSAS DE ACCIDENTES

Siempre hay una causa que produce un accidente, salvo la intervención de la naturaleza, gran parte son predecibles y evitables con diferencias de gravedad.

Según el Ing. César Oswaldo Aguilar Ortiz quien publica en “Creamos clientes para nuestros clientes”. En la región Andina, el Ecuador está en el tercer lugar después de Colombia y Bolivia en el número de accidentes de tránsito, siendo la causa principal la imprudencia del conductor, seguido del exceso de velocidad y embriaguez, donde el tipo de accidente con más frecuencia es el choque.

Según un informe de la organización mundial de la salud (OMS), Ecuador es el segundo país en Sudamérica con el índice de muertes por accidentes de tránsito. Los accidentes suelen ocurrir por los siguientes factores:

2.8.1. FACTOR HUMANO

Es la causa de mayor proporción de accidentes de tránsito, según las leyes del país pueden ser:

- Conducción bajo efectos de alcohol, medicinas y estupefacientes
- Imprudencia del conductor, maniobras u omisión en lugares prohibidos
- Exceso de velocidad,
- Falta de luces, mal estado de la vía, señalización.
- Imprudencia del peatón
- Exceso de carga

2.8.2. FACTOR MECÁNICO

El automóvil se complementa con el conductor y una falla de cualquiera de los dos afecta a la otra, las causas pueden ser:

- Automóvil en medios no apropiadas para el trabajo
- Falta de mantenimiento preventivo

2.8.3. FACTOR CLIMATOLÓGICO Y OTROS

Las causas se debe a derrumbes, hundimientos, zonas inestables, humedad, niebla, lluvia, funcionalidad incorrecta de semáforo, condiciones de la vía (huecos, obstáculos)

2.9. SINIESTRALIDAD EN EL ECUADOR

Los datos manejados por la comunidad andina, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, la Agencia Nacional de Tránsito ANT, la Comisión de Tránsito y Policía Nacional determinan una elevada cifra de accidentes de tránsito en el Ecuador que instante a instante afectan el bienestar y tranquilidad de la sociedad. La Agencia Nacional de Tránsito ANT mensualmente elabora datos estadísticos referentes a los siniestros de tránsito producidos en el Ecuador.

También la Asamblea General de las Naciones Unidas en resolución 64/255, indica el periodo entre los años 2011 a 2020 “Decenio de Acción para la seguridad Vial”, donde el propósito es estabilizar y disminuir las cifras de accidentes de tránsito en todo el planeta.

En el presente trabajo se indica datos referentes a siniestros viales producidos durante los años 2010 a 2014 proporcionados por el Ing. Jorge Luis Villa Cedeño director de estudios y estadísticas referencias: ANT – AC – 2014-38291. Las estadísticas permiten conocer los siniestros viales en el país obteniendo una caracterización de la problemática que se observa en las tablas 2.3 a 2.7 y figuras 2.24 a 2.28.

Tabla 2.3. Accidentes de tránsito por tipo 2010 – 2014 ^[12]

TIPO	2010	2011		2012	2013	2014
CHOQUE	11.351	10.968		10.492	12.584	17.340
ATROPELLO	4.538	4.259		3.928	4.523	6.028
ESTRELLAMIENTO	3.898	3.798		3.604	3.958	4.825
ROZAMIENTO	1.698	1.750		1.632	1.835	2.735
VOLCAMIENTO	1.298	1.107		1.087	1.065	1.357
ENCUNETAMIENTO	1.120	1.189		1.270	1.647	2.545
OTRAS CAUSAS*	1.685	1.555		1.829	2557	3.828
TOTAL:	25.588	24.626		23.842	28.169	38.658

*Se consideran: Caída de pasajeros, colisión, obstáculos – derrumbes.

Fuente: ANT Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos. Quito, Ecuador.

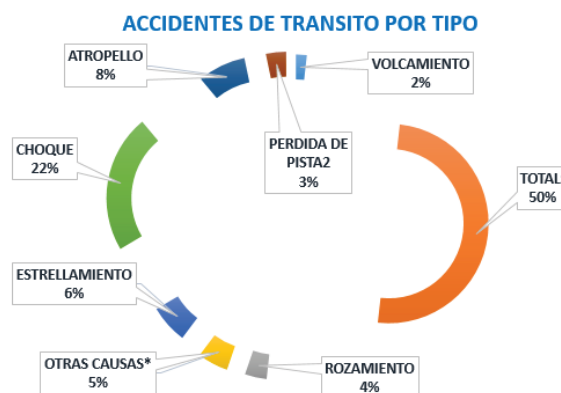


Figura 2.24. Accidentes de tránsito por tipo

¹² Agencia Nacional de Tránsito. (2014). *Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos*. Quito, Ecuador.

Tabla 2.4. Siniestros por provincia a nivel nacional 2010 – 2014

PROVINCIAS	2010	2011	2012	2013	2014
AZUAY	1.166	1.145	1.033	1.008	1.739
BOLIVAR	220	190	184	171	227
CAÑAR	273	273	276	344	355
CARCHI	181	192	263	204	172
CHIMBORAZO	825	678	633	680	655
COTOPAXI	605	552	516	685	650
EL ORO	578	555	627	995	963
ESMERALDAS	350	320	375	351	336
GALAPAGOS	34	25	24	9	16
GUAYAS	9.183	8.771	9.039	10.385	9.592
IMBABURA	675	668	757	807	939
LOJA	587	691	744	864	722
LOS RIOS	922	779	996	1.137	1.376
MANABI	1.293	1.361	1.151	1.398	1.695
MORONA SANTIAGO	145	112	131	186	182
NAPO	164	176	140	203	185
ORELLANA	110	126	174	227	186
PASTAZA	164	198	128	254	252
PICHINCHA	5.594	5.396	3.964	5.531	15.099
SANTA ELENA	284	301	456	709	693
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	781	661	838	731	627
SUCUMBIOS	113	171	270	131	113
TUNGURAHUA	1.189	1.173	983	979	1.742
ZAMORA CHINCHIPE	152	112	140	180	142
TOTAL:	25.588	24.626	23.842	28.169	38.658

Fuente: ANT Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos, Quito

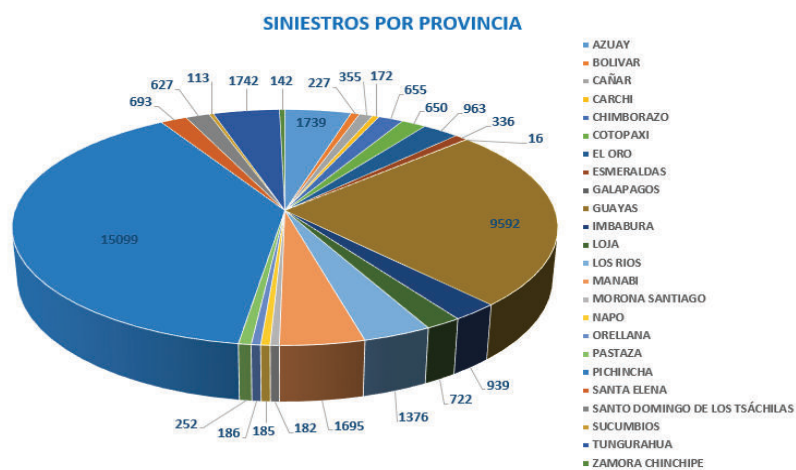


Figura 2.25. Siniestros por provincia

Tabla 2.5. Accidentes de tránsito por causas probables 2010 – 2014

CAUSA	2010	2011	2012	2013	2014
IMPERICIA /IMPRUDENCIA DEL CONDUCTOR	13.088	11.203	11.397	13.997	13.334
EXCESO DE VELOCIDAD	3.685	3.518	1.911	2.292	3.892
EMBRIAGUEZ	2.633	2.437	2.134**	2.251	2.438
INVADIR CARRIL	1.640	2.201	1.768	398	1.924
IMPRUDENCIA DE INVOLUCRADOS (NO CONDUCTORES)	1.251	2.130	1.795	2.005	2.015
NO RESPETA LAS SEÑALES DE TRÁNSITO	856	1.512	1.195	2.224	8.027
OTRAS CAUSAS*	2.435	1.625	3.642	5002	7.028
TOTAL:	25.588	24.626	23.842	28.169	38.658

* En otras causas se consideran: Daños mecánicos, casos fortuitos, causas en proceso de investigación, vehículos mal estacionados y pasarse el semáforo en rojo.

** En el año 2012, la embriaguez del conductor se ubica en el segundo lugar como causa probable

Fuente: ANT Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos, Quito

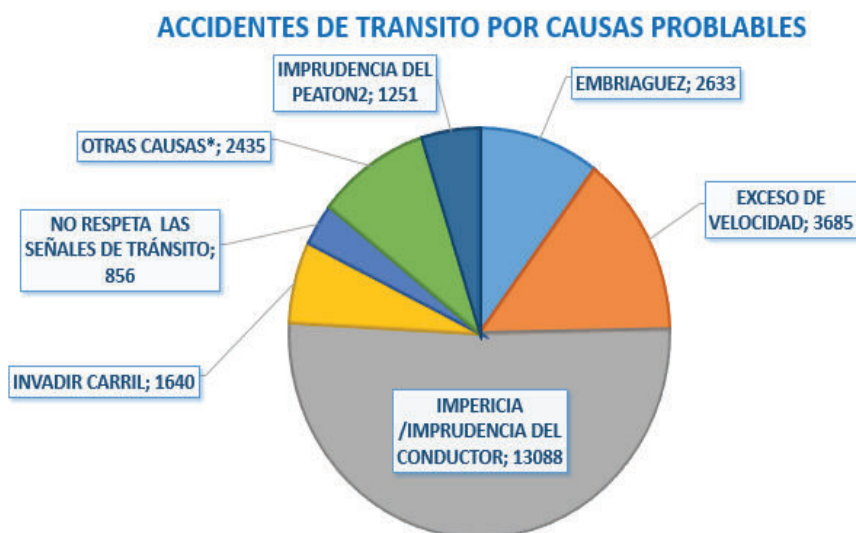


Figura 2.26. Accidentes de tránsito por causas probables

Tabla 2.6. Muertos por provincia 2010 – 2014

PROVINCIAS	2010	2011	2012	2013	2014
AZUAY	79	81	77	53	85
BOLIVAR	30	29	32	35	32
CAÑAR	30	22	39	33	41
CARCHI	35	30	26	34	15
CHIMBORAZO	109	73	93	82	70
COTOPAXI	172	114	110	149	138
EL ORO	37	50	95	106	95
ESMERALDAS	70	78	71	60	69
GALAPAGOS	1	2	2	--	1
GUAYAS	630	521	527	594	530
IMBABURA	91	84	99	71	74
LOJA	32	57	33	53	57
LOS RIOS	165	150	191	164	141
MANABI	180	138	142	171	134
MORONA SANTIAGO	21	22	13	28	34
NAPO	22	27	32	23	24
ORELLANA	19	24	40	43	56
PASTAZA	7	12	21	16	23
PICHINCHA	309	261	289	301	448
SANTA ELENA	32	29	53	37	34
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	99	91	89	110	83
SUCUMBIOS	18	30	40	21	29
TUNGURAHUA	111	100	109	68	91
ZAMORA CHINCHIPE	14	24	14	25	18
TOTAL:	2.313	2.049	2237	2.277	2322

Fuente: ANT Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos, Quito

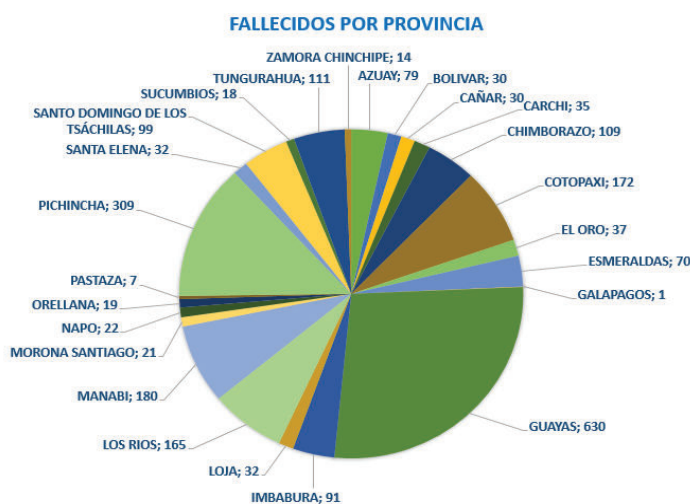


Figura 2.27. Fallecidos por provincia

Tabla 2.7. Heridos por provincia 2010 – 2014

PROVINCIAS	2010	2011	2012	2013	2014
AZUAY	806	914	770	736	1.301
BOLIVAR	155	181	231	191	197
CAÑAR	302	273	182	271	286
CARCHI	199	151	190	127	141
CHIMBORAZO	805	706	657	556	425
COTOPAXI	682	580	493	440	421
EL ORO	445	347	465	864	732
ESMERALDAS	443	295	347	373	255
GALAPAGOS	35	22	11	10	32
GUAYAS	6.070	5.686	6.075	7.879	7.356
IMBABURA	566	562	590	560	434
LOJA	369	526	399	453	477
LOS RIOS	961	697	847	1.029	1.248
MANABI	1.320	1.347	1.194	1.468	1.695
MORONA SANTIAGO	185	154	129	255	195
NAPO	214	163	173	174	167
ORELLANA	104	101	142	205	199
PASTAZA	131	107	184	219	226
PICHINCHA	4.110	4.267	2.916	4.244	9.715
SANTA ELENA	295	239	273	691	426
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	886	837	1.032	914	708
SUCUMBIOS	151	138	288	97	118
TUNGURAHUA	783	732	578	737	821
ZAMORA CHINCHIPE	151	88	89	158	93
TOTAL:	20.168	19.113	18.255	22.651	27.668

Fuente: ANT Estadísticas, Dirección de Estudios y Proyectos, Quito

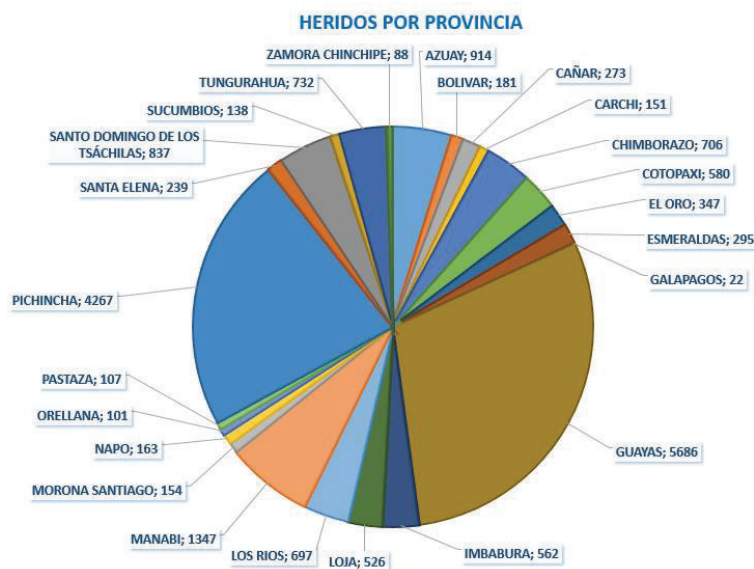


Figura 2.28. Heridos por provincia

2.10. NORMATIVA ECUATORIANA

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), mediante el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), es una organización del sector público que está al servicio de la industria, donde las normas técnicas permiten elevar la calidad de los productos terminados y mejorar la competitividad en el mercado a nivel nacional e internacional, los procedimientos están basados en normas internacionales como la ASTM, ISO y otras.

La norma NTE INEN 2713 establece las exigencias y metodologías de prueba que deben efectuar los vehículos para la protección de sus pasajeros en caso de impacto frontal, aplicable a vehículos de categoría M1 cuya masa total no supere las 2,5 toneladas.

La presente norma NTE INEN 2714 establece las exigencias y metodologías de prueba que deben efectuar los vehículos para la protección de todos los ocupantes en caso de choque lateral de la estructura del habitáculo de los automóviles a motor en las categorías M1 y N1.

La norma NTE INEN 2715 determina mejoras en la fabricación de elementos delanteros de vehículos que son identificados como causantes de daños o lesiones, durante la colisión con un peatón y otros usuarios, incluye vehículos de pasajeros, furgonetas y camionetas; se aplica a categorías M1 y N1 masa bruta superior a 500 kg. e inferior a 4500 kg.

2.11. NORMA EUROPEA

La norma Europea del Comité Europeo de normalización UNE EN 1317 en su última revisión del año 2008, determina los niveles de protección para garantizar la seguridad de una persona en caso de impacto. La norma regula las condiciones de ejecución y resultado del ensayo donde se determina las barreras de seguridad vial instalados en los márgenes de las carreteras europeas.

La norma UNE EN 1317 con versiones en español, es de libre circulación de productos en el mercado europeo y la armonización de las diferentes regulaciones nacionales a un modelo común. En los sistemas de contención para carreteras se define el comportamiento mediante parámetros como: deformación del sistema, severidad de impacto, capacidad de direccionamiento y nivel de contención de forma que los gobiernos de cada país elijan los sistemas que más se adecuen a su situación particular.

La norma 1317-1 incluye definiciones y criterios generales a seguir para efectuar las pruebas y cálculo de parámetros o valores.

La norma 1317-2 y 3 determina métodos particulares de ensayo, criterios de aceptación y clases de comportamiento para barreras de seguridad y atenuadores de impacto.

La norma 1317-4 es práctico (experimental) se dedica a los terminales y las transiciones de barreras de seguridad.

La norma 1317-5 determina la forma de evaluación de los sistemas que se construyan según modelos de pruebas a escala real, requisito indispensable para comercializar un sistema de contención en europea.

Para acceder al mercado europeo se debe realizar ensayos de impacto a escala real para especificar el comportamiento del producto, los constructores deben tener establecidos en su respectiva fábrica los procedimientos de control interno que garanticen que todos los productos cumplen con las características declaradas, por el contrario si no cumplen es rechazado.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1. PRUEBAS BAJO NORMAS INTERNACIONALES

Los siniestros en el país cada año van en aumento con pérdida de vidas humanas y heridos, lo que estimula determinar las condiciones de los materiales después de una colisión.

El análisis de las piezas deformadas después de una colisión, permitirá de ser el caso, mejorar el diseño de los componentes y la selección de las propiedades de los materiales en bien de la seguridad de la comunidad y del propio vehículo.

Para determinar el comportamiento de los elementos de un automóvil durante una colisión, no es necesario esperar que se produzcan accidentes para mejorar la eficiencia en diseño y seguridad de los mismos, obligando así a los fabricantes a mejorar sus productos.

Las normas de seguridad internacionales, exigen a los fabricantes y organismos facultados de homologación a que realicen la respectiva simulación de escenarios de accidentes reales, sometiendo a todo vehículo nuevo previa su comercialización a una serie de impactos controlados, donde deben superar los requerimientos y normativas en caso de impacto frontal y lateral, lo que dará lugar a evaluar el comportamiento de los materiales involucrados, diseño y efecto de los ocupantes del vehículo o peatones.

3.2. ENTIDADES QUE REALIZAN ENSAYOS

Los ensayos de impacto buscan poner a prueba la seguridad pasiva del automóvil, siendo los productores, asociaciones automovilísticas, organismos gubernamentales,

organismos de homologación y organizaciones NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) y NCAP (European New Car Assessment Programme), los encargados de seleccionar los vehículos a ser evaluados, con lo cual bajo parámetros rigurosos de prueba, emiten una calificación basada en una puntuación de 5 estrellas, con lo cual los clientes, familias y empresas identifican las opciones más seguras en función de sus necesidades.

3.2.1. FABRICANTES

Los automóviles construidos antes de salir al mercado se someten a ensayos de impacto frontal con la finalidad de superar requerimientos de homologación y el nivel de seguridad exigidos por el país o región.

Una colisión provocada mediante un prototipo identifica el comportamiento de los elementos y determina como debería modificarse, el constructor es el único responsable de sus automóviles.

3.2.2. ORGANISMOS DE HOMOLOGACIÓN

Los organismos de homologación NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) y NCAP (European New Car Assessment Programme), determinan el nivel de seguridad para los ocupantes de vehículos como para los peatones, a partir de una serie de ensayos de vehículos diseñados por estas entidades.

La homologación ofrece a los posibles consumidores una valoración independiente del nivel de seguridad de los vehículos más comercializados en el medio.

3.2.3. ORGANIZACIONES NHTSA Y NCAP

Las organizaciones NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) y NCAP (European New Car Assessment Programme) son agrupaciones que tienen por

miembros a entidades gubernamentales y organizaciones automovilísticas, cuyo propósito es evaluar la seguridad de los vehículos nuevos que se presentan o tienen tiempo muy corto de ingreso al mercado.

Los ensayos que se realizan son de impacto frontal contra barrera deformable, lateral y protección a los peatones, donde la calificación de seguridad que se otorga a los vehículos ensayados se basa a los posibles efectos a generarse en los ocupantes y peatones, los cuales son realizados con replicas a escala, peso y articulaciones que simulan el comportamiento natural de personas (dummies), en una colisión.

El incremento en las ventas de vehículos, depende de los resultados determinados por los ensayos y proporcionados a los consumidores, ello hace que los fabricantes se esfuercen en producir vehículos más seguros empleando tecnologías de punta, dirigidos a la prevención de daños físicos en extremidades, tórax y cervicales en los ocupantes y disminución de daños en la cabeza, pelvis y piernas en peatones.

3.2.4. NORMAS PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS

Las normas establecen los requisitos generales, como campo de aplicación, la preparación de probetas, los procedimientos y condiciones para llevar a cabo los ensayos.

3.2.4.1. Norma NTE INEN 0109-2009

La norma determina el procedimiento para el ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánicas a temperatura ambiente, la norma se aplica al ensayo de tracción de todos los productos de acero de sección transversal constante. ^[13]

¹³ NTE INEN 0109-2009. (2009). Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente. Quito, Ecuador

3.2.4.2. Norma ASTM A370-10

Los distintos ensayos mecánicos descritos en la norma se utilizan para determinar las propiedades requeridas en las especificaciones del material de acero, aceros inoxidables y aleaciones. La norma no pretende señalar problemas de seguridad, para su utilización es responsabilidad del interesado de la norma establecer en forma apropiada las prácticas de seguridad, salud y determinar la aplicabilidad, limitaciones reglamentarias antes de su uso. ^[14]

La preparación y defectos de muestras (probetas) de ensayo inadecuadas pueden dar resultados erróneos, por lo que se debe tener cuidado para asegurar un buen acabado en el mecanizado.

3.2.4.3. NORMA NTE INEN 1053-1984

Esta norma establece el método para determinar la dureza Rockwell en los productos metálicos de pequeño espesor o superficie endurecida, o cuando interesa que la huella sea reducida, se aplica en las escalas N, T, W, X e Y. ^[15]

3.3. SELECCIÓN DE PRUEBAS A REALIZAR

El incremento del parque automotor en el país contribuye al excesivo número de accidentes, siendo Pichincha y Guayas las provincias con mayor índice de colisiones, y en menor número las provincias como Tungurahua, Azuay y Manabí.

La sociedad se ve preocupada por las consecuencias que causa a la salud y bienestar de los individuos que están dentro del vehículo como también las que están fuera como transeúntes y familiares.

¹⁴ ASTM 370-10. (2010). Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Pennsylvania, United States, (P. 1).

¹⁵ NTE INEN 1053-1984. (1984). Determinación de la Dureza Rockwell Superficial. Quito, Ecuador

Con el fin de brindar a la comunidad los efectos que se generan en los materiales de las partes de automóviles después de una colisión, la presente investigación utilizará las normas vigentes que permitirán realizar los ensayos necesarios para el propósito especificado.

Los cambios que sufre el material son identificados en tres grupos: la primera fase como estándar cuando no sufre deformación, la segunda fase reparación de los elementos después de la colisión a golpe y temperatura ambiente y la tercera fase enderezada después de la colisión con ayuda de calor.

Para establecer las características y comportamiento de los materiales de partes automotrices, se utilizará las normas NTE INEN, ASTM, JIS en automóviles comercializados con el mayor número de unidades en el mercado local y en el país.

Los ensayos a realizar en los vehículos determinarán el planteamiento indicado, se especificará las curvas de esfuerzo deformación, dureza, metalografía y composición química de los siguientes elementos:

Tabla 3.1. Elementos de automóviles siniestrados

Id.	ELEMENTO	MODELO	COLOR	TIPO DE COLISIÒN
1	Guardafango (aleta) derecha	Pick Up 3.0 Diésel	Gris	Lateral
2	Guardafango (aleta) derecha	Sedán 1.4	Plateado	Lateral
3	Puerta izquierda	Sedán 1.4	Negro	Lateral
4	Capó	Sedán 1.4	Plateado	Frontal
5	Capó	Sedán 1.6	Vino	Frontal
6	Compuerta posterior	Sedán 1.8	Blanco	Por alcance
7	Frontal delantero	Sedán 1.6	Gris	Frontal

Fuente: A. C. Centro de colisiones

3.3.1. ELEMENTOS DE AUTOMOVILES SINIESTRADOS

Para la investigación del presente trabajo se tomó en cuenta siete elementos correspondientes a diferentes vehículos colisionados y que se toman como parámetro de referencia, donde se obtendrán las probetas necesarias para realizar las respectivas pruebas de laboratorio.

1. Guardafango derecho color gris, Pick Up 3.0 diésel, colisión lateral



Figura 3.1. Guardafango derecho Pick Up 3.0 diésel

2. Guardafango derecho color plateado, Sedán 1.4 colisión lateral



Figura 3.2. Guardafango derecho Sedán 1.4

3. Puerta Izquierda color negro, Sedán 1.4, colisión lateral



Figura 3.3. Puerta izquierda Sedán 1.4

4. Capó color gris plateado, Sedán 1.4, colisión frontal



Figura 3.4. Capó Sedán 1.4

5. Capó color vino, Sedán 1.6, colisión frontal



Figura 3.5. Capó Sedán 1.6

6. Compuerta color blanco, Sedán 1.8, colisión posterior



Figura 3.6. Compuerta Sedán 1.8

7. Frontal delantero, color gris Sedán 1.6, colisión frontal



Figura 3.7. Frontal delantero Sedán 1.6

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE RESULTADOS

4.1. VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DEFORMACIÓN DE CARROCERÍA

Durante una colisión vehicular se destruye todo el frente o se rompe el guarda choque debido a la fuerza de impacto que luego decae a medida que empieza el aplastamiento de componentes y bloque del motor. En la deformación de paneles automotrices debe considerarse un modelo matemático que identifique:

- Las propiedades geométricas de la estructura
- Las propiedades físicas del material como: Tensión, Módulo de Elasticidad, Densidad, Coeficiente de Dilatación Térmica, Coeficiente de Poisson.

En el análisis de una colisión plástica de los elementos del vehículo las variables que intervienen son: Aceleraciones, Energía de Deformación, Velocidad y Fuerza de Impacto, se desprecian factores como Calor, Ruido, Fricción. ^[16]

4.2. ÁNGULOS DE IMPACTO

Un automóvil en movimiento que golpea a otro o a un obstáculo fijo se identifica como una colisión, dependiendo de la dirección y punto de impacto, existen distintas clases.

4.2.1. COLISIÓN FRONTAL

Cuando el impacto se recibe y se distribuye en los elementos delanteros, pueden ser frontales: central, excéntrica o angular.

¹⁶ Enciso, Gustavo. Diversas aplicaciones de integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo. Universidad Nacional de Noreste. <http://usuarios.lycos.es/accidentología/.htm>

- a) Central si los ejes longitudinales de dos automóviles son opuestos y concuerdan su posición.
- b) Excéntrica los ejes son paralelos pero no concuerdan, ocurren generalmente cuando hay invasión de vías adyacentes de sentido contrario.
- c) Angular si los ejes longitudinales constituyen un ángulo menor de 90° .

4.2.2. COLISIONES LATERALES

Se origina cuando uno de los elementos adyacentes de un automóvil entra en acercamiento, pueden ser:

- a) Perpendiculares si los ejes de los automóviles en contacto forma un ángulo de 90° , dando lugar a impactos: delanteros, centrales y posteriores
- b) Oblicuas los ejes forman un ángulo superior a 90° y dan lugar a oblicuas: delanteras, centrales y posteriores; con impacto centrado si la línea media de los automóviles realizan contacto entre sí o descentrado si las líneas medias no realizan contacto durante el accidente.

4.2.3. COLISIONES POR ROCE

Cuando el impacto entre los elementos laterales de dos automóviles es violento dando lugar a roce: positivo si el movimiento es en sentido contrario; y negativo si el movimiento es en el mismo sentido.

4.2.4. COLISIÓN POR ALCANCE

Cuando un automóvil en movimiento está a mayor rapidez que el que le antecede y golpea en sus elementos posteriores del otro, dando lugar a una colisión: central, excéntrica o angular.

Los ángulos de impacto a analizar en el presente trabajo contemplan los siniestros por colisión frontal, lateral y por alcance respecto a la marcha y basados en la información de la entidad de control del estado ANT indicados en la tabla 3.1.

4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS DE LABORATORIO

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a los efectuados en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV), Laboratorio de Metalurgia extractiva, Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la Escuela Politécnica Nacional.

4.3.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN

Los materiales metálicos deben responder de forma adecuada es decir no fallar en servicio en función de sus propiedades mecánicas. El ensayo de tracción permite determinar el comportamiento sobre la capacidad de los materiales para soportar la acción de cargas, siendo muy importante en la caracterización mecánica de las partes de vehículos.

Las probetas para los ensayos de tracción son de sección plana, determinadas en tres secciones, sin deformación, enderezadas a golpe y enderezadas con calor, de siete partes de automóviles, identificando la resistencia mecánica, límite de fluencia y elongación, mediante la utilización de la norma ASTM A370-10 y norma NTE INEN 109-2009, véase figura 4.1.

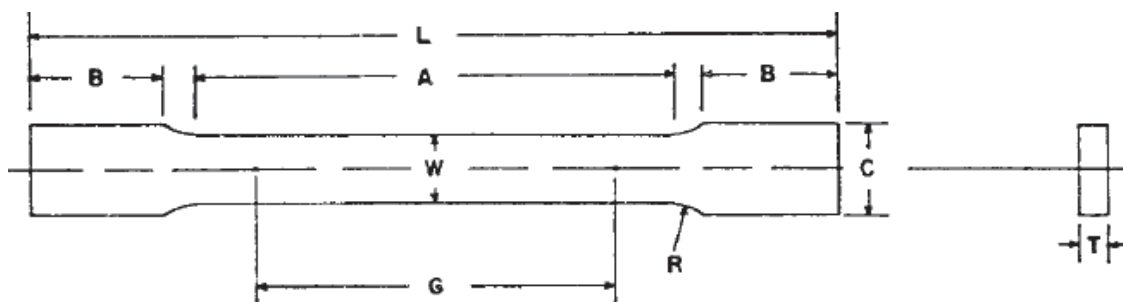


Figura 4.1. Probeta para ensayo de tracción ^[17]

¹⁷ ASTM 370-10. (2010). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. Pennsylvania, United States

Dimensión (mm)

G	50,0+0,10
W	12,5+0,25
T	Espesor del material
R	13
L	200
A	60
B	50
C	20

Fuente: ASTM 370-10. (2010). Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Pennsylvania, United States, (P. 5).

4.3.1.1. Concepto ensayos de tracción

Permite determinar las propiedades físicas de los materiales y la aplicación en el campo industrial, es el apropiado para la mayoría de metales y aleaciones no ferrosas, fundidos, laminados o forjados.

En el presente ensayo se analiza el comportamiento del acero al someter a un esfuerzo de tensión uniaxial. El ensayo se realiza en la máquina universal, consiste en someter las probetas a una carga uniaxial gradualmente creciente hasta que ocurra la falla.

El procedimiento es efectuado con un gran cuidado en la medición de sus dimensiones ya que después de los ensayos se van a realizar comparaciones tanto en longitud como en ancho de la probeta.

Después de la colisión se selecciona el elemento afectado para el análisis tomando como referencia la sección a extraer, para ensayo de tensión se toma 3 grupos de probetas, cada una conformada por siete elementos, siendo la primera de una zona donde no ha sufrido deformación alguna, la segunda del sector donde fue deformado y enderezado a temperatura ambiente y la tercera enderezado con calor a una temperatura de 80°C

4.3.1.2. Preparación de probetas

Se preparan las probetas de acuerdo a las dimensiones establecidas en la norma ASTM A370-10, con la ayuda de una tijera de corte para aceros, procediendo con la extracción del material de estudio de las zonas afectadas véase figura 4.2.



Figura 4.2. Corte de probeta ensayo de tracción

4.3.1.3. Inspección visual

Consiste en establecer la existencia de fallas superficiales y rectitud del eje longitudinal lo cual determina la utilidad de la probeta como se indica en la figura 4.3.

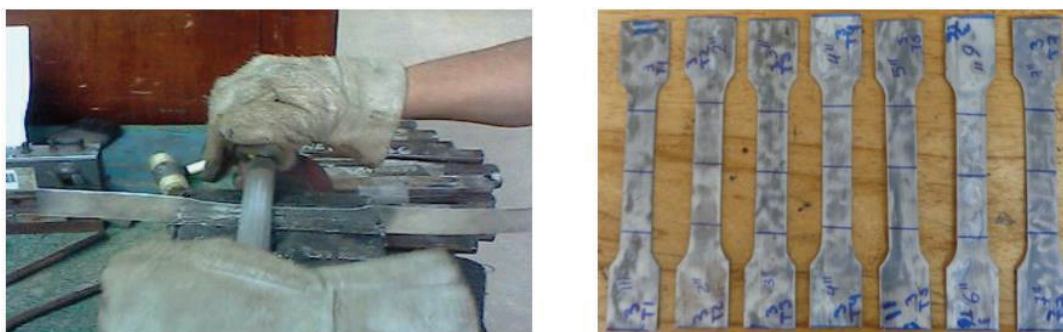


Figura 4.3. Corte e inspección de probeta de ensayo de tracción

4.3.1.4. Marcación de la probeta

Se coloca la probeta sobre una superficie y con un marcador se identifica una generatriz y sobre ella el centro de la probeta luego en forma equidistante la mitad de la longitud inicial L_0 hacia los dos lados, las normas determinan que la fractura debe producirse en el tercio medio de L_0 y los extremos deben quedar libres para ser tomados por las mordazas de la máquina universal.

4.3.1.5. Preparación de la máquina universal

En la máquina universal de ensayos se realiza lo siguiente:

- Selección de mordazas, para el presente caso se utilizan mordazas planas
- Montaje de la probeta en la máquina, se sujeta el extremo de la muestra en la mordaza superior del equipo de ensayos, se acciona la mordaza móvil hasta que coincida con el extremo libre de la probeta, se procede a sujetarla para que esta no resbale durante el ensayo como se observa en la figura 4.4.



Figura 4.4. Montaje de probeta en máquina universal

4.3.1.6. Procedimiento del ensayo

Se aplica una carga hasta que los dientes de la mordaza se inserten en los extremos de la probeta. A partir de este instante se estabiliza la carga y se observa el diagrama en la pantalla del monitor correspondiente al periodo elástico que cumple con la ley de Hooke donde las cargas son proporcionales a las deformaciones que se originan.

Mientras la carga continua actuando la recta emprende a curvarse llegando al fin del periodo de proporcionalidad e inicio de la deformación permanente en esta zona plástica o de fluencia se produce un reajuste cristalino interno del material, luego en la probeta aparece una zona de estrechamiento conocido como estricción donde se producirá la fractura.

En el diagrama el dial cae rápidamente debido a que la carga disminuye, marcando así la carga máxima soportada y el ensayo finaliza. Luego se retiran las partes de la probeta que están sujetas en las mordazas para realizar las mediciones correspondientes como ilustra en la figura 4.5.

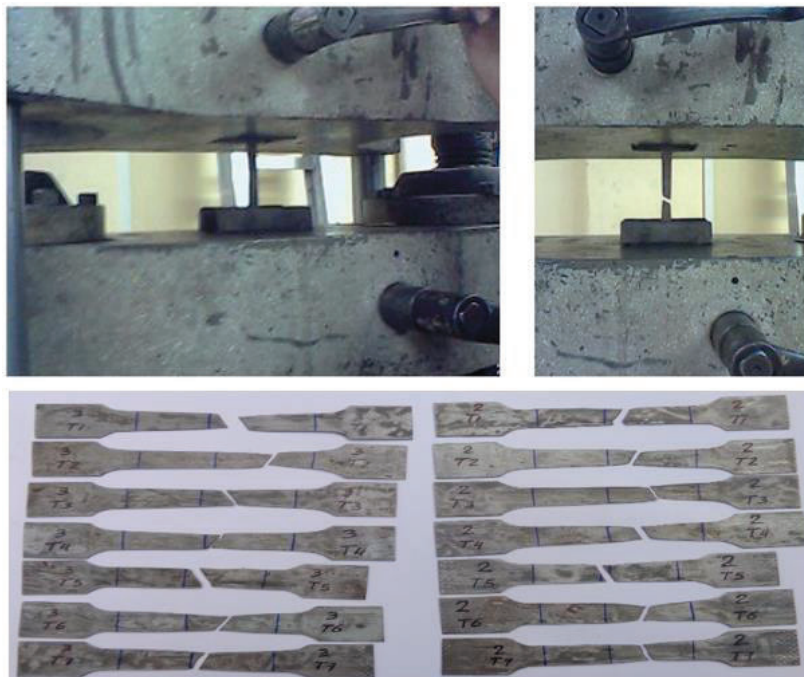


Figura 4.5. Montaje y desmontaje de probeta

4.3.1.7. Mediciones

Después de la fractura la probeta es descargado de la máquina universal y se unen las partes para medir la longitud final entre los puntos identificados al inicio del desplazamiento, estará sea a la derecha o izquierda como indican las normas.

4.3.1.8. Tabulación de datos

En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran los valores de los siete elementos ordenados en tres secciones de ensayos de tracción, para luego medir: ancho promedio, espesor promedio, carga máxima registrada, límite de fluencia, resistencia a la tracción y % de elongación.

Tabla 4.1. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas estándar

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
1-T1	12,84	0,67	628	2.793	38,1	262,9	47,1	324,7	36,5
1-T2	12,65	0,64	525	2.335	37,9	261,0	42,2	290,8	32,3
1-T3	12,99	0,66	550	2.447	29,0	199,9	41,7	287,5	37,0
1-T4	12,62	0,63	539	2.398	39,8	274,3	43,8	301,7	28,5
1-T5	13,35	0,72	1.066	4.742	56,6	389,9	72,1	497,0	20,6
1-T6	12,58	0,63	512	2.277	40,6	280,1	41,7	287,5	33,3
1-T7	12,50	1,02	1.245	5.538	47,0	324,0	63,3	436,5	25,4

Tabla 4.2. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas enderezadas en frío

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
2-T1	12,67	0,72	597	2.656	35,4	243,8	42,2	291,1	20,5
2-T2	12,35	0,64	533	2.371	34,4	237,0	43,8	302,3	32,6
2-T3	12,40	0,78	528	2.349	28,4	195,8	35,5	244,5	33,7
2-T4	12,57	0,63	531	2.362	38,8	267,2	43,3	298,3	29,1
2-T5	13,42	0,70	1.009	4.488	27,2	256,6	75,4	520,0	12,0
2-T6	12,92	0,63	557	2.478	30,7	211,7	44,1	304,4	18,8
2-T7	12,43	0,98	1.182	5.258	22,5	155,4	62,9	434,0	17,3

Tabla 4.3. Límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación probetas enderezadas con calor

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
3-T1	12,73	0,73	616	2.740	37,6	259,2	43,1	296,9	28,4
3-T2	12,21	0,63	532	2.366	35,1	242,0	45,0	310,2	34,2
3-T3	13,16	0,65	571	2.540	35,8	247,0	43,1	296,9	32,2
3-T4	12,63	0,63	553	2.460	41,4	285,3	45,2	311,7	31,6
3-T5	12,58	0,71	1.150	5.115	58,8	405,5	83,1	572,7	8,6
3-T6	12,77	0,61	578	2.571	40,4	278,4	47,9	330,1	20,1
3-T7	12,58	1,03	1.245	5.538	49,4	340,3	62,2	429,0	16,9

4.3.2. ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA ROCKWELL

Las probetas utilizadas para los ensayos de dureza son de sección plana ordenadas en tres grupos de siete elementos de automóviles, realizando el ensayo de dureza Rockwell superficial, mediante la utilización del durómetro.

4.3.2.1. Concepto Dureza

La dureza es la resistencia del material a la penetración, a la deformación plástica y a la rayadura. ^[18]

4.3.2.2. Extracción de probetas

La extracción de las probetas de los diferentes elementos automotrices tiene por dimensiones 80x50 (mm²) independientemente de cada grupo como se observa en la figura 4.6.

¹⁸ Sánchez Gálvez, V. (1988). *Física de la plasticidad ETSI caminos, canales y puertos*

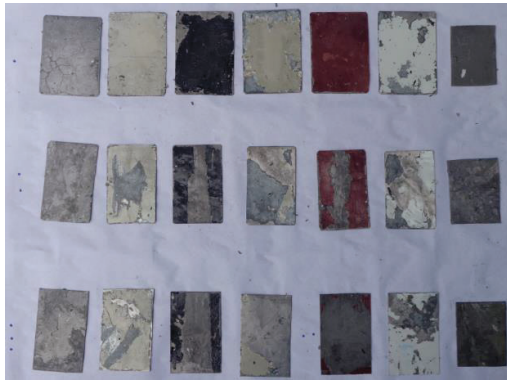


Figura 4.6. Extracción de probetas para dureza

4.3.2.3. Acabado superficial de la probeta

La superficie de la probeta de ensayo debe ser plana, pulida y libre de óxido o materias extrañas, así mismo se debe tener cuidado de no alterar la condición original del material por medio de calentamientos o trabajos en frío que dejen tensiones residuales.

4.3.2.4. Equipo de ensayos

Consiste en un durómetro marca DUROTW N compuesto por un yunque o soporte rígido sobre el cual se ubica la muestra y un terminal que permite aplicar la carga prefijada a un penetrador que hace contacto con la superficie de la probeta, véase figura 4.7.



Figura 4.7. Equipo de prueba durómetro

4.3.2.5. Aplicación de la precarga

Se coloca la probeta en el soporte y se aplica la precarga gradualmente hasta obtener la indicación apropiada en el dial, como se muestra en la figura 4.8.



Figura 4.8. Aplicación de precarga durómetro

4.3.2.6. Aplicación de la carga

Se acciona la palanca de trabajo y se deja que gire libremente, luego se retira la carga trasladando la palanca de operación a la posición inicial después que su movimiento ha finalizado. Se repite por 5 veces en la longitud de cada probeta, como se indica en la figura 4.9.

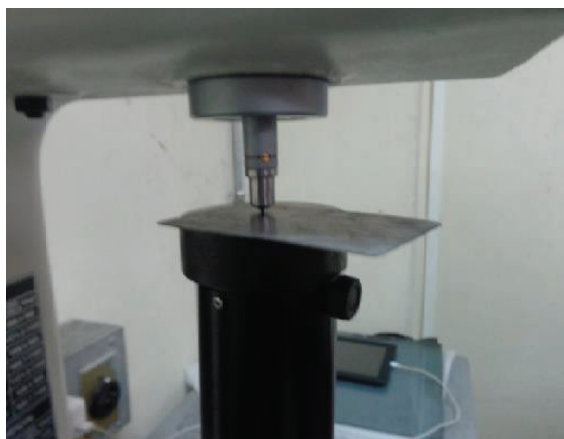


Figura 4.9. Ensayo de dureza

4.3.2.7. Lectura

La lectura se realiza tomando en cuenta la identificación del material de la probeta extraída, la temperatura de ensayo, la escala utilizada y número de ensayos realizados, como se observa en la figura 4.10.



Figura 4.10. Lectura de ensayo de dureza

4.3.2.8. Tabulación de datos ensayos de barrido de dureza

En las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran los valores de los siete elementos en tres grupos de los ensayos de barrido de dureza superficial en escala Rockwell 15T, determinados con un promedio de cinco puntos experimentados en línea recta de las probetas.

Tabla 4.4. Ensayos de barrido de dureza probetas estándar

Id.	Escala Rockwell 15T					Promedio
	1	2	3	4	5	
1-D1	67	73	74	74	75	73
1-D2	76	76	76	76	76	76
1-D3	73	73	73	74	74	73
1-D4	77	77	77	77	77	77
1-D5	82	83	83	83	84	83
1-D6	75	75	76	77	77	76
1-D7	72	72	73	74	74	73

Tabla 4.5. Ensayos de barrido de dureza probetas enderezadas en frío

Id.	Escala Rockwell 15T					
	1	2	3	4	5	Promedio
2-D1	33	35	44	54	56	44
2-D2	41	45	49	50	71	51
2-D3	39	48	55	68	70	56
2-D4	57	64	71	73	75	68
2-D5	69	70	77	81	82	76
2-D6	34	35	44	48	63	45
2-D7	60	68	68	68	70	67

Tabla 4.6. Ensayos de barrido de dureza probetas enderezadas con calor

Id.	Escala Rockwell 15T					
	1	2	3	4	5	Promedio
3-D1	31	60	66	68	71	59
3-D2	36	53	67	68	69	59
3-D3	55	65	67	68	68	65
3-D4	51	56	68	73	73	64
3-D5	62	78	81	84	85	78
3-D6	64	66	68	68	68	67
3-D7	51	52	58	65	66	58

4.3.3. ENSAYOS METALOGRAFICOS

Las probetas manipuladas para los ensayos metalográficos son de sección plana montadas en resina sintética agrupadas en tres grupos de siete elementos de automóviles, estos se analizan en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la Escuela Politécnica Nacional.

4.3.3.1. Concepto metalografía

La metalografía es parte de la metalurgia o micrografía y estudia la naturaleza y aleaciones de los metales para identificar las propiedades mecánicas, físicas, y químicas. Su importancia fundamental es manifestar la historia del procedimiento mecánico y térmico que ha soportado el material, como también permiten establecer: tamaño de grano, distribución de fases que constituyen la aleación, inclusiones, inclusiones no metálicas como micro cavidades de contracción, sopladuras, escorias que modifican principalmente las propiedades mecánicas.

Por lo que el análisis metalográfico se efectúa antes de que el elemento sea destinado a una aplicación, a efectos de advertir dificultades durante su actividad o puede ser efectuado en los elementos que han fallado después de su funcionamiento, en el presente caso las piezas deformadas. El procedimiento a seguir incluye extracción, preparación, ataque químico y observación microscópica de la muestra, cada operación es realizada eficientemente.

4.3.3.2. Extracción de la muestra

De cada elemento de vehículo se extrae tres muestras representativas cuadradas de 2.5 cm por 2.5 cm, siendo la primera de un sector donde no tiene deformación, la segunda donde hay deformación y es enderezado a temperatura ambiente, la tercera es enderezado con calor; las muestras son cortadas mediante una amoladora y tijera para metales, como se ilustra en la figura 4.11.

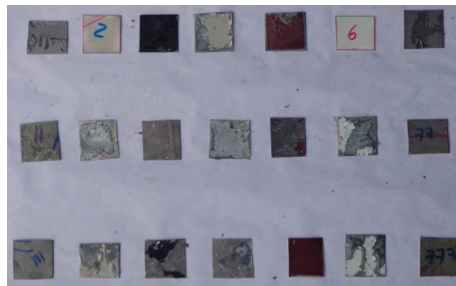


Figura 4.11. Extracción de probetas para ensayo metalográfico

4.3.3.3. Montaje

La muestra se coloca sobre un recipiente cilíndrico en forma vertical, luego se vierte resina poliéster y catalizador (peróxido y cobalto al 12%) y en un tiempo aproximado de 5 a 10 minutos se solidifica, la temperatura alcanza a 71°C, cada probeta es necesario identificar mediante un marcador de agua para evitar confusión entre ellas, como se indica en la figura 4.12.



Figura 4.12. Montaje probetas ensayo metalográfico

4.3.3.4. Desbaste grueso

Una vez extraída la probeta para reducir las irregularidades y obtener una cara lo más plana y uniforme posible, se presiona sobre la máquina desbastadora rotatoria en lija con base de lona número 100 a temperatura ambiente.

4.3.3.5. Desbaste fino

Luego se continua en forma manual en la desbastadora mecánica con circuito de agua para refrigeración y lija (abrasivo) números 240, 320, 400, 600, 1500 granos/pulgada lineal en forma adecuada y secuencial, colocando en la superficie plana y limpia, moviendo la muestra de forma longitudinal de un extremo a otro, manteniendo la misma dirección de tal manera que las rayas sean paralelas con una corriente de agua que hace la función de refrigerar y lubricar la zona de trabajo.

La operación sobre el abrasivo se determina por la eliminación de las estrías originadas en el abrasivo anterior, así las líneas de una lija a otra son perpendiculares o se rota a 90° el movimiento cada vez que se cambia de abrasivo con el respectivo lavado de la probeta, como se observa en la figura 4.13.



Figura 4.13. Desbaste probetas ensayo metalográfico

4.3.3.6. Pulido

Se realiza en dos etapas conocido como pulido grueso y fino: la primera etapa elimina las rayas o deformaciones profundas mediante una pulidora de paño y como abrasivo se utiliza alúmina (óxido de aluminio en partículas) de 1 micrón en suspensión de agua.

En la segunda etapa se elimina las rayas pequeñas utilizando como abrasivo alúmina de 0.3 micrón en suspensión de agua, hasta llegar a la microestructura real. ^[19]

¹⁹ Escuela Politécnica Nacional. (2011). *Folleto guía de Ciencia de Materiales*. Quito, Ecuador

Observando en el microscopio metalográfico con un aumento de 100X y 500X, si la superficie está lista entonces el pulido se da por terminado, caso contrario se continúa, véase figura 4.14.



Figura 4.14. Pulido de probetas

4.3.3.7. Ataque químico

Permite revelar las características estructurales o límites del grano que se encuentran en la probeta. De ahí que es un proceso de corrosión controlado que se origina sobre la muestra y la reacción química es principalmente sobre la ferrita y perlita.

La solución química a usar depende del tipo de material, temperatura, tiempo de ataque y efecto deseado en la superficie, para materiales ferrosos se utilizan dos soluciones comunes indicadas en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Soluciones para ataque químico en aceros^[20]

SOLUCIÓN	COMPOSICIÓN	EFECTO
NITAL 2%	Ácido nítrico 2 ml Alcohol etílico 110 ml	Realza la interface entre carburos y la matriz de ferrita – perlita
PICRAL	Acido pícrico 4 g alcohol etílico 100 ml	Revela límites de grano de austenita en estructuras: martensítica, ferrita y perlita

²⁰ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2011-II). *Metalografía*, Laboratorio de Producción ed. (P. 16.)

Para atacar aceros de bajo contenido de carbono se utiliza el Nital al 2% (solución acuosa o alcohólica de ácido nítrico), el ataque consiste en aplicar sobre la superficie de la muestra de 1 a 2 minutos, para con ello observar en el microscopio hasta que la probeta logre el contraste apropiado.

Antes de realizar el ataque se limpia la superficie con agua y se desengrasa con alcohol de 99.6 g, luego para secar se utiliza un flujo de aire caliente con la ayuda de la secadora del laboratorio, el ataque consiste en sumergir la probeta en el reactivo o impregnar el reactivo sobre un algodón con el reactivo y frotar el área de la muestra, después del tiempo de ataque se lava con agua y se enjuaga con alcohol, inmediatamente se seca con aire caliente para prevenir la formación de manchas de óxido, y se evita tocar la muestra con los dedos ya que se puede ensuciar y causar dificultades.

En caso de un sobre ataque es recomendable volver a pulir la superficie en la lija más fina, luego en el paño y repetir el ataque con un tiempo menor, quedando listo para la observación en el microscopio metalográfico como se indica en la figura 4.15.



Figura 4.15. Probetas listas para observación de micrografía

4.3.3.8. Observación en el microscopio

La superficie de la probeta libre de imperfecciones es expuesta al microscopio metalográfico para la visualización de las imágenes con aumentos de 100X y 500X, como se indica en la figura 4.16.



Figura 4.16. Observación micrográfica de las probetas atacadas

Fuente: Los autores laboratorio de metalografía EPN

4.3.3.9. Tabulación de ensayos metalográficos

En las tablas 4.8, 4.9 y 4.10 se muestran la estructura metalográfica de los siete elementos en tres grupos observados a 100X y 500X en el microscopio.

Tabla 4.8. Microestructura obtenida de las probetas estándar





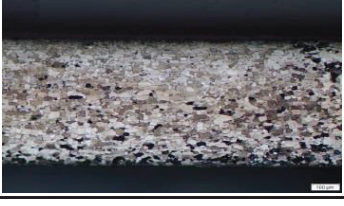

Vehículo	Nombre	100X	500X
Pick Up 3.0	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Puerta posterior izquierda		

Tabla 4.8. Microestructura obtenida de las probetas estándar (Continuación)


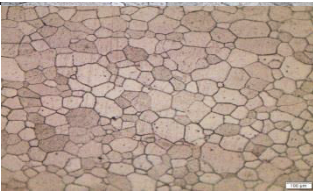

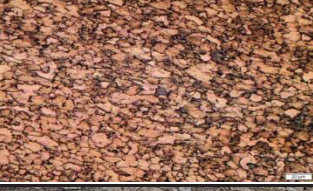

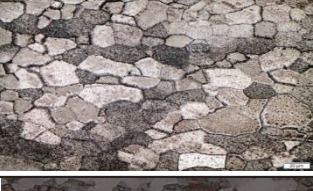
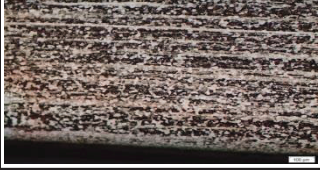
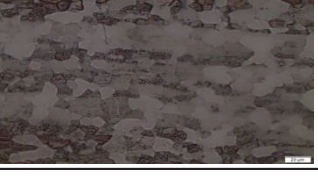
Vehículo	Nombre	100X	500X
Sedán 1.4	Capó		
Sedán 1.6	Capó		
Sedán 1.8	Compuerta posterior		
Sedán 1.6	Frontal delantero		

Tabla 4.9. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas en frío






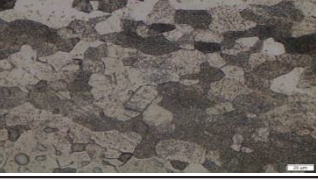
Vehículo	Nombre	100X	500X
Pick Up 3.0	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Puerta posterior izquierda		

Tabla 4.9. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas en frío (Continuación)




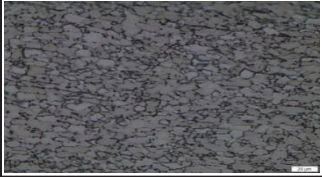



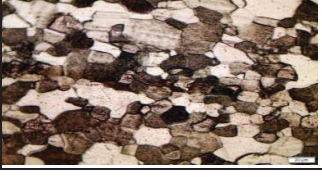
Vehículo	Nombre	100X	500X
Sedán 1.4	Capó		
Sedán 1.6	Capó		
Sedán 1.8	Compuerta posterior		
Sedán 1.6	Frontal delantero		

Tabla 4.10. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas con calor



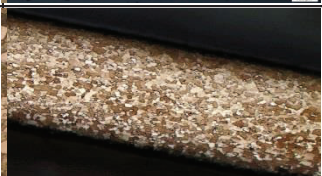

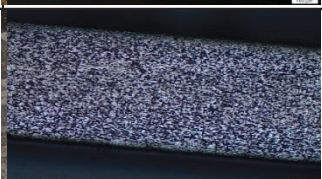




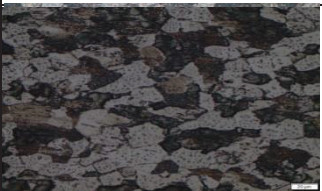




Vehículo	Nombre	100X	500X
Pick Up 3.0	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Guardafango derecho		
Sedán 1.4	Puerta posterior izquierda		
Sedán 1.4	Capó		

Tabla 4.10. Microestructura obtenida de las probetas enderezadas con calor (Continuación)

Vehículo	Nombre	100X	500X
Sedán 1.6	Capó		
Sedán 1.8	Compuerta posterior		
Sedán 1.6	Frontal delantero		

4.4. ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA DE CHISPA

La espectroscopia es una técnica capaz de analizar la composición química de cualquier material metálico sin importar su estado de agregación en que se encuentre. El método consiste en un dispositivo que actúa mediante un arco eléctrico que calienta a la muestra a altas temperaturas para excitar a los átomos donde la chispa hace que los átomos emitan una luz en varias amplitudes de frecuencia, característica de cada componente que son detectadas por un sistema óptico y la información es cuantificada en el ordenador, esta destreza es utilizada en la producción para la inspección de calidad y en investigaciones de nuevos materiales

El estándar para este tipo de análisis en materiales metálicos es el ASTM-E415, considerado como el método más idóneo. El tamaño de la muestra no se especifica en norma alguna, las empleadas para el desarrollo del presente trabajo consisten en 7 placas metálicas de las utilizadas para los ensayos de tracción una de cada parte de automóvil con una superficie plana sin ralladuras.

La cuantificación de los elementos químicos presentes en las muestras se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN, véase figura 4.17.



Figura 4.17. Espectrómetro de chispa BRUKER modelo Q4TASMAN

4.4.1. PROCEDIMIENTO

- Identificar las probetas a utilizar (de tracción)
- Seleccionar y numerar las placas con superficie óptima
- Calibración del equipo mediante los parámetros y procedimientos del manual
- Cubrir la muestra en el sistema óptico del equipo
- Generar las chispas necesarias con una buena inflamación
- Retirar las muestras del equipo, como se muestra en la figura 4.18
- Guardar los resultados



Figura 4.18. Chispa generada en la muestra

4.4.2. RESULTADOS DE ESPECTROMETRÍA DE CHISPA

Los resultados de análisis por Espectrometría de chispa corresponden a los realizados en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional. Obteniéndose en la tabla 4.11 los siguientes datos:

Tabla 4.11. Resultados de análisis por espectrometría de chispa

METALES	MUESTRAS						
	# 1 (%)	# 2 (%)	# 3 (%)	# 4 (%)	# 5 (%)	# 6 (%)	# 7 (%)
Carbono (C)	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	0,08	0,12
Silicio (Si)	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,06
Manganeso (Mn)	0,12	0,06	0,11	0,16	0,68	0,09	0,66
Fósforo (P)	0,14	0,14	0,13	0,09	0,12	0,03	0,12
Azufre (S)	0,14	0,10	0,11	0,10	0,08	0,24	0,02
Cromo (Cr)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02
Níquel (Ni)	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobre (Cu)	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
Aluminio (Al)	0,03	0,07	0,05	0,06	0,07	0,19	0,03
Bismuto (Bi)	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
Antimonio (Sb)	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Plomo (Pb)	0,05	0,03	0,04	0,06	0,06	0,02	0,02
Hierro (Fe)	99,13	99,18	99,21	99,17	97,30	99,36	98,65

4.5. CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Debido a que durante las colisiones los automóviles sufrieron daños en elementos específicos delanteros y laterales se tomará en cuenta dichas secciones, considerando la energía de deformación, velocidad de impacto y fuerza de impacto.

Los parámetros de los automóviles accidentados es difícil de identificar con exactitud por lo que el estudio se basa en la deformación de la estructura, energía que depende

no solo de la dureza de los elementos, banda de impacto, sino que además está en función directa del área del daño o deformación del rodado. [21]

Por lo que para el análisis se toma como referencia las ecuaciones 4.1 y 4.2 formuladas por Campbell, siendo:

$$V_{(x)} = b_0 + b_1x \quad [4.1]$$

$$\frac{F_{(x)}}{W} = A + Bx \quad [4.2]$$

Donde:

$V_{(x)}$: Velocidad de colisión (m/s), en función de la profundidad (x) de deformación

b_0 : Velocidad de colisión (m/s), sin deformación permanente

b_1 : Valor de la pendiente (s^{-1})

$\frac{F}{W}$: Carga por unidad de ancho de deformación (N/m)

A: Fuerza máxima de carga por unidad de ancho de deformación (Kg/m), que el automóvil puede albergar sin deformación permanente

B: Constante de dureza del rodado (Kg/m^2), depende de cada automóvil y de la zona de colisión sobre la estructura del automóvil

La energía desperdiciada en el área de deformación, depende del trabajo realizado y este de la fuerza en relación de la profundidad de la avería donde la energía de deformación plástica está dado por la ecuación 4.3.

$$E_d = \int_0^x \frac{F}{W}(X)dX = \int_0^x (A + BX)dx + \frac{1}{2}M (b_0)^2 \quad [4.3]$$

Donde:

²¹ Enciso, Gustavo. *Diversas aplicaciones de integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo*. Universidad Nacional de Noreste.
<http://usuarios.lycos.es/accidentología/publicaciones.htm>

E_d : Energía de deformación (J)

M : Masa del vehículo incluido los ocupantes (Kg)

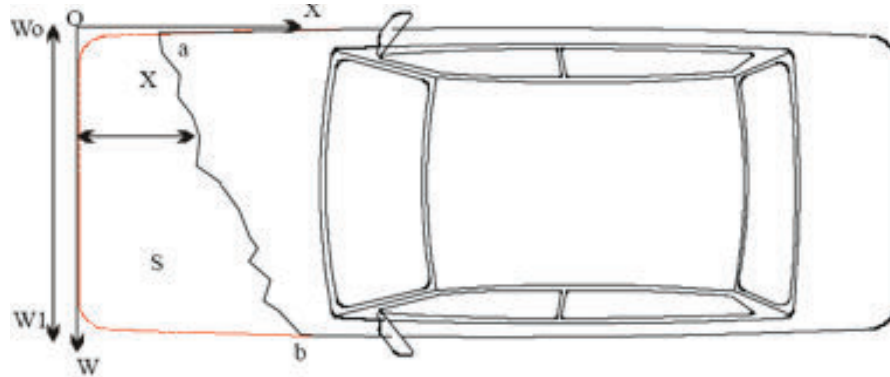


Figura 4.19. Superficie deformada

Fuente: Enciso Gustavo. *Diversas aplicaciones de integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo.*

S : Superficie deformada, como se ilustra en la figura 4.19

W_0 : Ancho con menor deformación (m)

W_1 : Ancho con mayor deformación (m)

La ecuación 4.4 es aplicando la igualdad geométrica de dos puntos y pendiente.

$$X = f(W)$$

$$X(w) = a + \left(\frac{b-a}{W_1-W_0} \right) (W - W_0) = a + m(w - w_0) \quad [4.4]$$

La energía de deformación expresada con la función lineal y la doble integral se determina por la ecuación 4.5.

$$E_d = \int_{W_0}^{W_1} \int_0^{a+m(W-W_0)} \frac{F}{W} dx dw \quad [4.5]$$

Sustituyendo se tiene la ecuación 4.6.:

$$E_d = \int_{W_0}^{W_1} \left(A \cdot a + A \cdot m \cdot (w - w_0) + \frac{B}{2} a^2 + B \cdot a \cdot m(w - w_0) + \frac{B}{2} m^2 (w - w_0)^2 \right) dw + \frac{1}{2} M (b_0)^2 \quad [4.6]$$

Los coeficientes de esfuerzos para impacto de automóviles A y B se obtienen a partir de ensayos destructivos CRASH TEST que son estandarizados por NHTSA (national Highway Traffic Safety Administration). Para el caso y por no disponer de información, se toma el valor promedio de tres vehículos de similares características tabla 4.12.

Tabla 4.12. Coeficientes de esfuerzos para choques

Marca	Modelo	Año	Coeficientes	
			A (lb/in)	B (Lb/in) ²
Kia	Forte	2010	429,95	160,75
Mazda	3	2010	638,44	282,13
Toyota	Prius	2010	523,95	179,55
Chevrolet	Sail	2014	530,78	207,48

Fuente: www.virtualstatement.com/resoucers/stiffness_coe_db.aspx

4.6. RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación tienen lugar en las tres secciones de cada elemento automotriz de ensayos de tracción, dureza y metalografía de cada probeta, como se indica en las tablas 4.13 a 4.19.


1. Guardafango derecho, Pick Up 3.0 diésel, colisión lateral

Tabla 4.13. Resumen de resultados obtenidos Pick Up 3.0 diésel

1	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación										
	Probetas	Ancho promedio mm	Espesor promedio mm	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación % en 50 mm	
Vehículo Pick Up 3.0 Diesel Guardafango Derecho	Estándar	12,84	0,67	628	2.793	38,10	262,90	47,10	324,70	36,50	
	Enderezada en Frío	12,67	0,72	597	2.656	35,40	243,80	42,20	291,10	20,50	
	Enderezada con Calor	12,73	0,73	616	2.740	37,60	259,20	43,10	296,90	28,40	
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T										
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio				
	Estándar	67	73	74	74	75	73				
	Enderezada en Frío	33	35	44	54	56	44				
	Enderezada con Calor	31	60	66	68	71	59				
	Ensayo Metalográfico										
	Estándar					Enderezada con Calor					
100 X		500 X		100 X		500 X		100 X		500 X	


2. Guardafango derecho, Sedán 1.4 colisión lateral

Tabla 4.14. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4

2	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio mm	Espesor promedio mm	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación % en 50 mm
Vehículo Sedán 1.4 Guardafango Derecho	Estándar	12,65	0,64	525	2.335	37,90	261,00	42,20	290,80	32,30
	Enderezada en Frío	12,35	0,64	533	2.371	34,40	237,00	43,80	302,30	32,60
	Enderezada con Calor	12,21	0,63	532	2.366	35,10	242,00	45,00	310,20	34,20
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	76	76	76	76	76	76			
	Enderezada en Frío	41	45	49	50	71	51			
	Enderezada con Calor	36	53	67	68	59	57			
	Ensayo Metalográfico									
	Estándar		Enderezada en Frío		Enderezada con Calor					
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X					
										





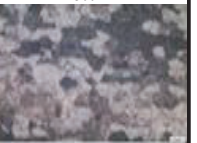
3. Puerta Izquierda, Sedán 1.4. Colisión lateral

Tabla 4.15. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4

3	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio mm	Espesor promedio mm	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación % en 50 mm
Automóvil Sedán 1.4 Puerta Posterior Izquierda	Estándar	12,99	0,66	550	2.447	29,00	199,90	41,70	287,50	37,00
	Enderezada en Frío	12,4	0,78	528	2.349	28,40	195,80	35,50	244,50	33,70
	Enderezada con Calor	13,16	0,65	571	2.540	35,80	247,00	43,10	296,90	32,20
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	73	73	73	74	74	73			
	Enderezada en Frío	39	48	55	68	70	56			
	Enderezada con Calor	55	65	67	68	68	65			
	Ensayo Metalográfico									
	Estándar		Enderezada en Frío		Enderezada con Calor					
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X					
										

4. Capó color, Sedán 1.4, Colisión frontal

Tabla 4.16. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.4

4	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación %
		mm	mm	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	en 50 mm
	Estándar	12,62	0,63	539	2.398	39,80	274,30	43,80	301,70	28,50
	Enderezada en Frío	12,57	0,63	531	2.362	38,80	267,20	43,30	298,30	29,10
	Enderezada con Calor	12,63	0,63	553	2.460	41,40	285,30	45,20	311,70	31,60
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	77	77	77	77	75	77			
	Enderezada en Frío	57	64	71	73	75	68			
Enderezada con Calor	51	56	68	73	73	64				
Ensayo Metalográfico										
Estándar		Enderezada en Frío		Enderezada con Calor						
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X					
										











5. Capó, Sedán 1.6 GLS, colisión frontal

Tabla 4.17. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.6

5	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación %
		mm	mm	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	en 50 mm
	Estándar	13,35	0,72	1066	4.742	56,60	389,90	72,10	497,00	20,60
	Enderezada en Frío	13,42	0,7	1009	4.488	27,20	256,60	75,40	520,00	12,00
	Enderezada con Calor	12,58	0,71	1150	5.515	58,80	405,50	83,10	572,70	8,60
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	82	73	83	83	84	83			
	Enderezada en Frío	69	70	77	81	82	73			
Enderezada con Calor	62	78	81	84	85	78				
Ensayo Metalográfico										
Estándar		Enderezada en Frío		Enderezada con Calor						
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X					
										

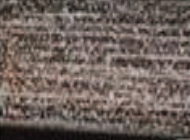





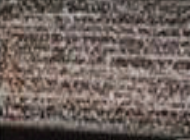



6. Compuerta, Sedán 1.8, colisión posterior

Tabla 4.18. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.8

6	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación %
		mm	mm	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	en 50 mm
	Estándar	12,58	0,63	512	2.277	40,60	280,10	41,70	287,50	33,30
	Enderezada en Frío	12,92	0,63	557	2.478	30,70	211,70	44,10	304,40	18,80
	Enderezada con Calor	12,77	0,61	578	2.571	40,40	278,40	47,90	330,10	20,10
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	75	75	76	77	77	76			
	Enderezada en Frío	34	35	44	48	63	45			
Enderezada con Calor	64	66	68	68	68	67				
Ensayo Metalográfico										
Estándar		Enderezada en Frío				Enderezada con Calor				
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	
										

7. Frontal delantero, Sedán 1.6 colisión frontal

Tabla 4.19. Resumen de resultados obtenidos Sedán 1.6

7	Resistencia Mecánica, Límite de Fluencia y Elongación									
	Probetas	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación %
		mm	mm	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	en 50 mm
	Estándar	12,5	1,02	1245	5.538	47,00	324,00	63,30	436,50	25,40
	Enderezada en Frío	12,43	0,98	1182	5.258	22,50	155,40	62,90	434,00	17,30
	Enderezada con Calor	12,58	1,03	1245	5.538	49,40	340,30	62,20	429,00	16,90
	Ensayos de barrido de Dureza, Escala Rockwell 15T									
	Probetas	1	2	3	4	5	Promedio			
	Estándar	72	72	73	74	74	73			
	Enderezada en Frío	60	68	68	68	70	67			
Enderezada con Calor	51	52	58	65	66	58				
Ensayo Metalográfico										
Estándar		Enderezada en Frío				Enderezada con Calor				
100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	100 X	500 X	
										

4.6.1. ANÁLISIS DE FRACTURA DE PROBETAS DE TRACCIÓN

Uno de los aspectos importantes a evaluar en las probetas de tracción, es la identificación del tipo de fractura donde la falla que presenta está relacionada con el ancho y espesor del material. Se ensayaron 21 probetas identificadas en siete grupos de tres cada una, a continuación se muestran en las tablas 4.20 a 4.26, las fotografías de las fracturas en los diferentes ensayos.

Tabla 4.20. Fractura Guardafango derecho Pick Up 3.0 Diésel.




GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal y fibroso	Dúctil Fractura en el tercio medio
2		Banda diagonal y cizalla	
3		Banda diagonal	

Tabla 4.21. Fractura Guardafango derecho Sedán 1.4




GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil Fractura sucede en el tercio medio y a 1/3 del extremo
2		Banda diagonal	
3		Banda diagonal	

Tabla 4.22. Fractura Puerta izquierda Sedán 1,4




GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil
2		Banda diagonal	Fractura sucede a: 1/3 del extremo,
3		Banda diagonal	¼ del extremo, 1/3 del extremo

Tabla 4.23. Fractura Capó Sedán 1.4




GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil
2		Banda diagonal	Fractura sucede: en el tercio medio, a 1/3 del extremo,
3		Banda diagonal	en el tercio medio

Tabla 4.24. Fractura Capó Sedán 1.6




GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil
2		Banda diagonal	Fractura sucede en el tercio medio de
3		Banda diagonal	las tres probetas

Tabla 4.25. Fractura Compuerta posterior Sedán 1.8







GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil Fractura sucede a 1/3 del extremo
2		Banda diagonal	Dúctil Fractura a 1/4 del extremo
3		Banda diagonal	Dúctil Fractura a 1/4 del extremo

Tabla 4.26. Fractura Frontal delantero Sedán 1.6

GRUPO	PROBETA	TIPO FRACTURA	Observación
1		Banda diagonal	Dúctil Fractura sucede en el tercio medio
2		Banda diagonal	Dúctil Fractura sucede a 1/4 del extremo
3		Banda diagonal	Dúctil Fractura sucede en el tercio medio

Los resultados de las fracturas observadas son de tipo dúctil, ya que la deformación es plástica en la sección longitudinal antes de la rotura.

4.6.2. ANÁLISIS METALOGRAFICO

4.6.2.1. Inclusiones

Las inclusiones son pequeñas partículas de elementos no metálicos (impurezas) e insolubles como sulfuros, óxidos, silicatos y alúminas que se quedan retenidos en el

material durante su fundición, la solidificación o al moldear el material. En general son indeseables ya que sus efectos son negativos y afectan a las propiedades mecánicas principalmente la ductilidad, resistencia, fractura, tensión.

Las inclusiones en el material se establecen a 100X mediante la norma NTE INEN 1482 ^[22], comparando las imágenes obtenidas en el microscopio con imágenes patrón, en el presente trabajo se realiza por observación de imágenes

4.6.2.2. Tamaño de grano

Se estima mediante la utilización de la norma ASTM E 112 por comparación de la estructura de tamaño de grano con una sucesión de imágenes reguladas en la plantilla circular (diámetro exterior de 175 mm), cada sección de la plantilla tiene un número donde indica el Tamaño de grano a 100X; el diámetro debe concordar con la arista de la imagen de la micrografía, véase figura 4.20.

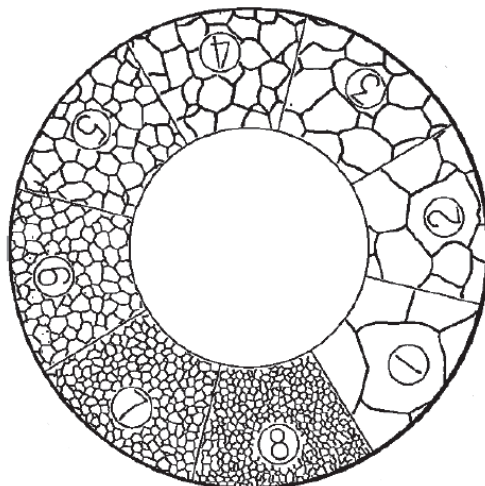


Figura 4.20. Plantilla para determinar el tamaño de grano por comparación ^[23]

Si se utiliza otra magnificación el valor final debe rectificarse mediante un factor de corrección determinado por la ecuación 4.17.

²² INEN 1482. (1987-01). *Aceros. Determinación microscópica de inclusiones*. Quito, Ecuador.

²³ Seiro, D. (2012). *Resumen de la Norma ASTM E 112*

$$Q = 6,64 \text{Log}_{10} \left(\frac{M}{M_b} \right) \quad [4.7]$$

Donde:

M_b : 100X

M: Magnificación, véase tabla 4.27

Tabla 4.27. Factor de corrección para determinar el tamaño de grano [24]

MAGNIFICACIÓN (M)	FACTOR DE CORRECCIÓN (Q)
50X	-2
100X	0
200X	2
400X	4

En la tabla 4.28 se realiza un análisis de resultados metalográficos y mecánicos de las probetas en estudio.

Tabla 4.28. Análisis de resultados metalográficos y mecánicos

#	Parte	Aumento	Tamaño de grano	OBSERVACIONES
1	Guardafango derecho, Pick Up 3.0 diésel, colisión lateral	100X	12	Acero de bajo contenido de carbono con presencia de una gran cantidad de inclusiones no metálicas, la microestructura es de tipo ferrita con colonias de perlita, la segunda probeta al ser enderezada a golpe durante la reparación disminuye sus propiedades mecánicas respecto a la estándar y en la tercera probeta enderezada con calor se observa deformación total de los granos de la microestructura.
		500X		Matriz ferrítica

²⁴ SEIRO, D. (2012). Resumen de la Norma ASTM E 112

Tabla 4.28. Análisis de resultados metalográficos y mecánicos (continuación)

#	Parte	Aumento	Tamaño de grano	OBSERVACIONES
2	Guardafango derecho, Sedán 1.4 colisión lateral	100X 500X	10	Acero de bajo contenido de carbono, con colonias de perlita, con presencia de inclusiones no metálicas, el grano no se deforma en ninguna de las probetas, la microestructura es heterogénea, la probeta enderezada con calor, al aliviar esfuerzos el material presenta similares propiedades mecánicas a la probeta estándar Matriz ferrítica
3	Puerta Izquierda Sedán 1.4, colisión lateral	100X 500X	9	Acero de bajo contenido de carbono con colonias de perlita con presencia de gran cantidad de inclusiones no metálicas, la probeta enderezada con calor, al aliviar esfuerzos supera las propiedades mecánicas a la probeta estándar a excepción de la dureza y un 4% en elongación Matriz ferrítica
4	Capó color, Sedán 1.4, colisión frontal	100X 500X	11	Acero de bajo contenido de carbono con colonias de perlita, en la tercera probeta existe deformación del grano, mejora las propiedades mecánicas a excepción de la dureza, supera los resultados obtenidos respecto a la probeta estándar. Matriz ferrítica

Tabla 4.28. Análisis de resultados metalográficos y mecánicos (continuación)

#	Parte	Aumento	Tamaño de grano	OBSERVACIONES
5	Capó color, Sedán 1.6, colisión frontal	100X 500X	14	Acero de bajo contenido de carbono con colonias de perlita y presencia de inclusiones no metálicas, el tamaño de grano se deforma al ser enderezado con calor no se recupera totalmente, las propiedades mecánicas y supera respecto a la probeta estándar a excepción de la dureza. Matriz ferrítica
6	Compuerta, Sedán 1.8, colisión posterior	100X 500X	10	Acero de bajo contenido de carbono con colonias de perlita, gran cantidad de inclusiones no metálicas, en la probeta enderezada en frío el grano sufrió deformación y en la probeta enderezada con calor mejora el grano, propiedades mecánicas aumentan, a excepción de la dureza, límite de fluencia y porcentaje de elongación. Matriz ferrítica
7	Frontal delantero, Sedán 1.6, colisión frontal	100X 500X	11	Acero de bajo contenido de carbono, gran cantidad de inclusiones no metálicas el tamaño de grano es uniforme en la probeta estándar, con el enderezado en frío, disminuye las propiedades mecánicas y en la probeta enderezada con calor mejora las propiedades mecánicas a excepción de la dureza, límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación. Matriz ferrítica perlítica

4.7. ANÁLISIS DE ENERGÍA DE DEFORMACIÓN

En el análisis se toma como referencia de uno de los siete vehículos siniestrados en estudio (colisión frontal), debido a que con la información obtenida se determina, la energía de deformación, la velocidad y fuerza del impacto, lo que permite parametrizar el cambio o reparación de partes.

4.7.1. CAPÓ SEDAN 1.4 GRUPO 4.

La energía de deformación del Sedan 1.4 en impacto frontal con el elemento Colisionado capó, véase figura 4.21.

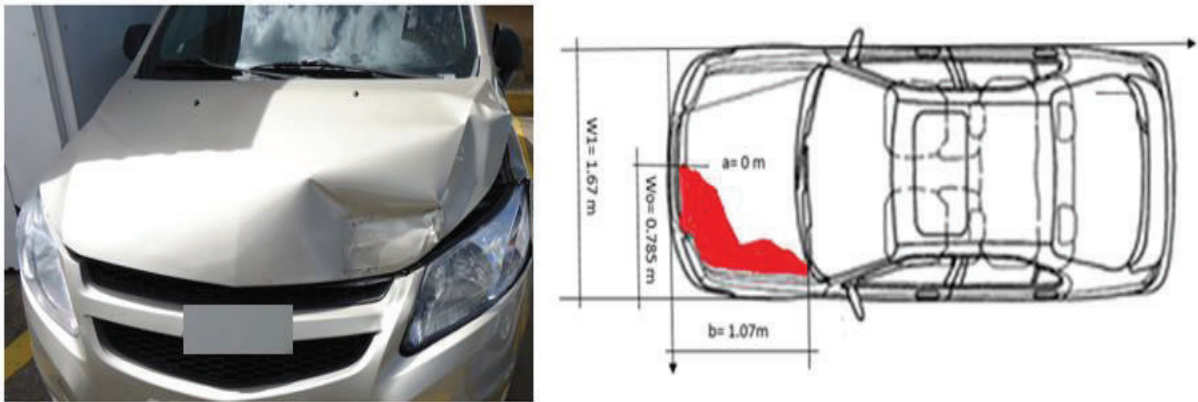


Figura 4.21. Capó Sedán 1.4

Fuente: A. C. Centro de colisiones

$$X(w) = a + \left(\frac{b - a}{W_1 - w_0} \right) (W - W_0) = 0 + \left(\frac{1.07 - 0}{1.67 - 0.785} \right) (W - W_0)$$

$$X(w) = 1,209040 (W - W_0)$$

Los coeficientes de esfuerzos para colisión se obtienen de la norma SAE 920607 ^[25], reemplazando en las ecuaciones es:

$$A = \frac{0,802 \cdot M \cdot b_0 \cdot b_1}{L} \quad B = \frac{0,802 \cdot M \cdot (b_1)^2}{L}$$

Los valores de b_0 y b_1 son:

$$(b_1)^2 = \frac{B \cdot L}{0,802 \cdot M} = \frac{(207,48)(34,84)}{0,802 \cdot 3157}$$

$$b_1 = 1,689 \frac{mph}{in}$$

$$b_0 = \frac{A \cdot L}{0,802 \cdot M \cdot b_1} = \frac{530,78 \cdot 34,84}{0,802 \cdot 3157 \cdot 1,689} = 4,322 \text{ mph}$$

Tabla 4.29. Conversión de unidades

Variables	Sistema Ingles	Sistema Métrico
Coeficiente A	530,78 lb/in	2361,0271 N
Coeficiente B	207,48 lb/in ²	1430533,1040 N/m ²
Coeficiente b_0	4,3227 mph	1,9324 m/s
Masa vehicular M	3157 lb	1435 Kg
Cota W_0	-	0,785 m
Cota W_1	-	1,67 m
Cota a	-	0 m
Cota b	-	1,07 m
Pendiente m	-	1,209040

²⁵ [http:// papers.sae.org/920607/](http://papers.sae.org/920607/)

Sustituyendo la variable a con un valor de cero en la ecuación 4.6 la energía de deformación es:

$$E_d = \int_{0,785}^{1,67} (2361,0271) \cdot (1,209040) \cdot (1,67 - 0,785) + \frac{1430533,1040}{2} 1,209040^2 (1,67 - 0,785)^2 \Big] dw + \frac{1}{2} 1435 (1,9324)^2$$

$$E_d = 729649.76 \text{ Nm (J)}$$

4.7.2. VELOCIDAD DE IMPACTO

La velocidad de impacto se determina por medio de la ecuación 4.8.

$$V_{\text{impacto}} = \sqrt{\frac{2E_d}{M}} \quad [4.8]$$

$$V_{\text{impacto}} = \sqrt{\frac{2 \times 729649,76}{1435}} = 31.89 \text{ Km/h}$$

4.7.3. FUERZA DE IMPACTO

La fuerza es directamente proporcional a la profundidad de deformación, para el cálculo se ubican varios puntos en los ejes horizontal y vertical de la superficie deformada, mediante la ecuación 4.9 y figura 4.22.

$$F_{\text{impacto}} = L \left\{ A + \frac{B}{2} (X + \Delta X) \right\} \quad [4.9]$$

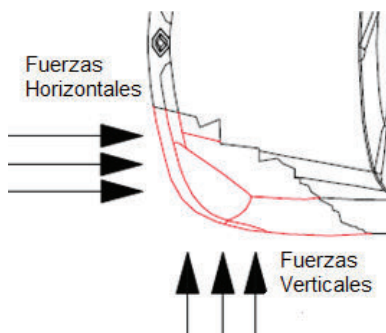


Figura 4.22. Fuerzas de impacto

Reemplazando valores se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.30.

Tabla 4.30. Fuerzas de impacto horizontal y vertical

FUERZAS HORIZONTALES	
Distancia (m)	Fuerza (N)
0,00	469,74
0,22	489,94
0,44	510,14
0,66	530,33
0,89	550,99
FUERZAS VERTICALES	
Distancia (m)	Fuerza (N)
0,00	469,74
0,25	492,69
0,50	515,65
0,75	538,60
1,07	567,98

4.8. DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE ELEMENTOS

La deformación plástica de elementos es aquella en la cual el cuerpo deformado no recupera su forma original a consecuencia de una fuerza externa. Esta deformación ocurre por el desalineamiento de los átomos (deslizamiento) y el cambio en la dirección de los átomos en la red de la microestructura (maclado), los mismos que se producen cuando el límite de fluencia del material es superado, es decir cuando la tensión deja de ser proporcional a la deformación, ocasionados por compresión, cizalladura y tracción.

4.9. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DEL AUTOMÓVIL

4.9.1. ESFUERZO NORMAL (σ)

El esfuerzo normal resulta de la relación entre la carga aplicada soportada por la probeta y la sección transversal inicial de la misma mediante la ecuación 4.10.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad [4.10]$$

Donde:

p: Carga aplicada

A₀: Sección transversal de la probeta

4.9.2. ELONGACIÓN O ALARGAMIENTO ϵ (%)

Es la diferencia entre la longitud final e inicial y la longitud inicial expresado en valor porcentual mediante la ecuación 4.11.

$$\epsilon(\%) = \frac{L_f - L_o}{L_o} 100 \quad [26] \quad [4.11]$$

Donde:

L_o: Longitud antes de ensayar la probeta

L_f: Longitud luego de la rotura de la probeta

4.9.3. ESTRICCIÓN DE ROTURA (Ψ)

A medida que se alarga la probeta, se produce un estrechamiento de sus secciones normales. Se define como la diferencia entre la sección inicial y la final, referida a la inicial y expresada en valor porcentual, véase ecuación 4.12.

²⁶ Shigley Joseph E., Mischke Charles R. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta. ed.). México: McGraw-Hill. (P. 260).

$$\Psi_{\%} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} 100 \quad [27] \quad [4.12]$$

A_0 = Sección transversal inicial

A_f = Sección transversal final

4.9.4. COEFICIENTE DE POISSON (ν)

Es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección transversal, cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento, véase ecuación 4.13, los valores se representan en la tabla 4.31.

$$\nu = \frac{\Psi}{\epsilon} \quad [4.13]$$

4.9.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)

El módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Se determina a partir de la ley de Hooke mediante la expresión 4.14.

$$\delta = E\epsilon \quad [4.14]$$

Donde:

E: Módulo de proporcionalidad (módulo de Young)

²⁷ William F. Smith, Javad Hashemi. (2004). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, (4ta. ed.). España: McGraw-Hill Interamericana. (P. 224).

Tabla 4.31. Resultados: elongación %, estricción %, coeficiente de poisson

Identif. Probeta	Longitud inicial	Longitud final	Ancho inicial	Ancho final	Espesor inicial	Espesor final	Área inicial	Área final	Elongación %	Estricción %	Coeficiente de poisson
	Lo (mm)	Lf (mm)	Wo (mm)	Wf (mm)	Eo (mm)	Ef (mm)	$Ao = \frac{Ao}{Wo} * Eo$	$Af = \frac{Af}{Wf} * Ef$	$\epsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo} * 100\%$	$\Psi = \frac{Ao - Af}{Ao} * 100\%$	$V = \Psi / \epsilon$
1-T1	50	68,25	12,84	8,5	0,67	0,3	8,6028	2,55	36,5	70,35848793	1,927629806
2-T1	50	60,25	12,67	10,3	0,72	0,45	9,1224	4,635	20,5	49,19100237	2,399561091
3-T1	50	64,2	12,73	8,8	0,73	0,4	9,2929	3,52	28,4	62,12161973	2,187380976
1-T2	50	66,15	12,65	7,8	0,64	0,25	8,096	1,95	32,3	75,91403162	2,350279617
2-T2	50	66,3	12,35	7,9	0,64	0,35	7,904	2,765	32,6	65,01771255	1,99440836
3-T2	50	67,1	12,21	8,35	0,63	0,3	7,6923	2,505	34,2	67,43496743	1,971782674
1-T3	50	68,5	12,99	8,4	0,66	0,3	8,5734	2,52	37	70,60676045	1,908290823
2-T3	50	66,85	12,4	7,6	0,78	0,4	8,184	3,04	33,7	62,85434995	1,865114242
3-T3	50	66,1	13,16	9,2	0,65	0,45	8,554	4,14	32,2	51,6015899	1,602533848
1-T4	50	64,25	12,62	8,2	0,63	0,3	7,9506	2,46	28,5	69,05893895	2,423120665
2-T4	50	64,55	12,57	8	0,63	0,55	7,9191	4,4	29,1	44,4381306	1,527083526
3-T4	50	65,8	12,63	8,85	0,63	0,45	7,9569	3,9825	31,6	49,94910078	1,580667746
1-T5	50	60,3	13,35	11,3	0,72	0,4	9,612	4,52	20,6	52,97544736	2,571623658
2-T5	50	56	13,42	10,6	0,7	0,45	9,394	4,77	12	49,22290824	4,10190902
3-T5	50	54,3	12,58	11,3	0,71	0,45	8,9318	5,085	8,6	43,0685864	5,007975163
1-T6	50	66,65	12,58	7,9	0,63	0,3	7,9254	2,37	33,3	70,09614657	2,104989386
2-T6	50	59,4	12,92	8,4	0,63	0,4	8,1396	3,36	18,8	58,72033024	3,123421821
3-T6	50	60,05	12,77	9,2	0,61	0,3	7,7897	2,76	20,1	64,56859699	3,21236801
1-T7	50	62,7	12,5	9,65	1,02	0,5	12,75	4,825	25,4	62,15686275	2,447120581
2-T7	50	58,65	12,43	9,6	0,98	0,55	12,1814	5,28	17,3	56,65522846	3,274868697
3-T7	50	58,45	12,58	10,4	1,03	0,5	12,9574	5,2	16,9	59,86849214	3,542514328

4.9.6. ENERGIA DE DEFORMACIÓN (u)

Todo material tiende a acumular energía interiormente en su volumen cuando es deformado por la acción de una carga exterior, el trabajo externo es equivalente al trabajo interno o energía de deformación unitaria almacenada en el elemento en términos de esfuerzo uniaxial, se expresa por la ecuación 4.15 y los resultados se indican en la tabla 4.32.

$$u = \frac{1\sigma^2}{2E} \quad [4.15]$$

Tabla 4.32. Módulo de elasticidad, energía de deformación

Id. Probeta	Resistencia a la tracción (σ)		% Elongación en 50 mm (ϵ)	Módulo de elasticidad (Young)	Energía de deformación unitaria
	Ksi	Mpa		$E = \sigma/\epsilon$ (Mpa)	$\mu = \sigma^2/2E$
1-T1	47,1	324,7	36,5	889,5890411	59,25775
1-T2	42,2	290,8	32,3	900,3095975	46,9642
1-T3	41,7	287,5	37	777,027027	53,1875
1-T4	43,8	301,7	28,5	1058,596491	42,99225
1-T5	72,1	497	20,6	2412,621359	51,191
1-T6	41,7	287,5	33,3	863,3633634	47,86875
1-T7	63,3	436,5	25,4	1718,503937	55,4355

4.9.7. RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN

La resistencia última a la tracción en función de la dureza Brinell está dada por la ecuación 4.16.

$$S_{ut} = 3.10 H_B \text{ (Mpa)} \quad [28] \quad [4.16]$$

Donde:

H_B : Dureza Brinell

²⁸ Shigley Joseph E., Mischke Charles r. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta. ed.). México: McGraw-Hill. (P. 270).

La dureza Brinell consiste en presiones sobre una muestra metálica con una bola de acero endurecido de diámetro de 10 mm, cuanto más estrecha es la mella, mayor es el número y más duro el material, resulta adecuado para materiales de dureza media y baja. [29]

En el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) de la Escuela Politécnica Nacional se realizaron los ensayos de barrido de dureza superficial en escala Rockwell 15-T y en escala brinell HB, se emplea la tabla de conversión de dureza de la empresa Mutitoyo [30], los valores que no se encuentran directamente se interpola mediante la ecuación 4.17 de la recta obteniendo los resultados en la tabla 4.33

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \quad [31] \quad [4.17]$$

Tabla 4.33. Conversión de dureza

Id. Probeta	Rockwell Superficial	Brinell	Resistencia última a la tensión
	15T	HB	Sut = 3,10*HB(Mpa)
1-D1	73	261	809,1
1-D2	76	282	874,2
1-D3	73	261	809,1
1-D4	77	294	911,4
1-D5	83	425	1317,5
1-D6	76	282	874,2
1-D7	73	261	809,1

²⁹ Feirer, John L. Lindbeck, John R. (2000). *Metal Tecnología y Proceso*. Madrid, España: Paraninfo S.A. Thomson Learning. (P. 382).

³⁰ Wizhard. *Durómetros Tabla de Conversión de Dureza*. México: Mutitoyo Mexicana S.A. de C. V. (P. 378).

http://www.mitutoyo.com.mx/Catalogo%20Digital/catalogo_secciones/dureza/files/12_hardness.pdf

³¹ Aguilar Márquez Arturo, Valapai Vásquez Fabian. (2010). *Geometría, Trigonometría y Geometría Analítica*. (1ra. ed.). México: Prentice Hall. (P. 304).

4.10. DIAGRAMAS DE ENSAYO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

A partir de los datos registrados en los ensayos de tensión realizados en el laboratorio de los siete grupos (elementos de vehículo) con tres probetas de cada uno, se grafican los resultados, indicando que se representan solo del primer grupo ver figuras 4.23 a 4.25, de los demás se incorporan en el anexo A.

El diagrama esfuerzo – deformación es muy importante ya que proporciona los medios para obtener datos sobre la resistencia a tensión de un material sin considerar el tamaño o forma geométrica del material. [32]

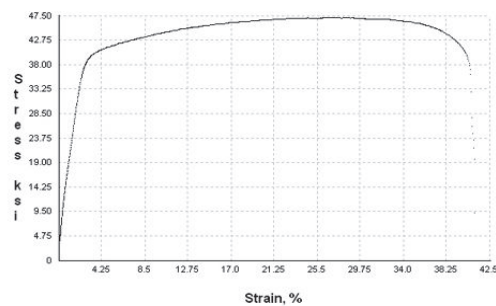


Figura 4.23. Curva Esfuerzo - deformación 1T1 probeta estándar Pick Up 3.0 [33]

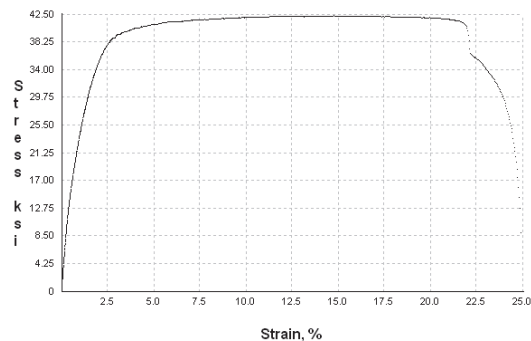


Figura 4.24. Curva Esfuerzo-deformación 2T1 probeta enderezada en frío Pick Up 3.0

³² Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de Materiales*. (6ta. ed.). México: Pearson Prentice Hall. (P. 87).

³³ Escuela Politécnica Nacional. (2015). Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

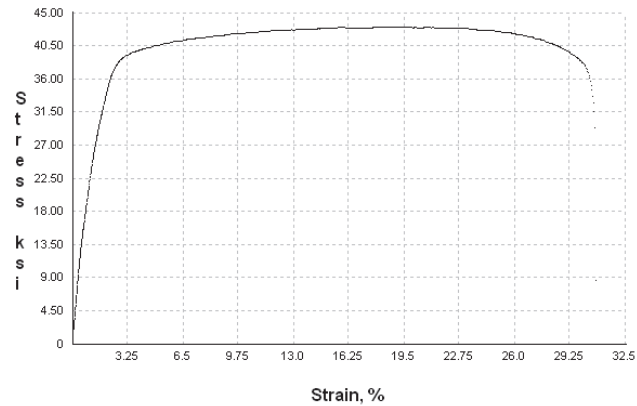


Figura 4.25. Curva Esfuerzo-deformación 3T1 probeta enderezada calor Pick Up 3.0

4.11. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los valores de límite de fluencia, resistencia a la tracción, dureza Brinell, elongación y estricción de cada elemento automotriz se indica en la tabla 4.34 con lo cual se determina el contenido de carbono.

Tabla 4.34. Resultados propiedades mecánicas probetas

Id. Probeta	Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Dureza Brinell	% Elongación en 50 mm	Estricción %
	Ksi	MPa	Ksi	MPa			
1-T1	38,1	262,9	47,1	324,7	261	36,5	76,171
1-T2	37,9	261,0	42,2	290,8	282	32,3	77,149
1-T3	29,0	199,9	41,7	287,5	261	37,0	80,871
1-T4	39,8	274,3	43,8	301,7	294	28,5	75,788
1-T5	56,6	389,9	72,1	497,0	425	20,6	53,392
1-T6	40,6	280,1	41,7	287,5	282	33,3	70,096
1-T7	47,0	324,0	63,3	436,5	261	25,4	65,941

El contenido de carbono se encuentra observando en la figura 4.26.

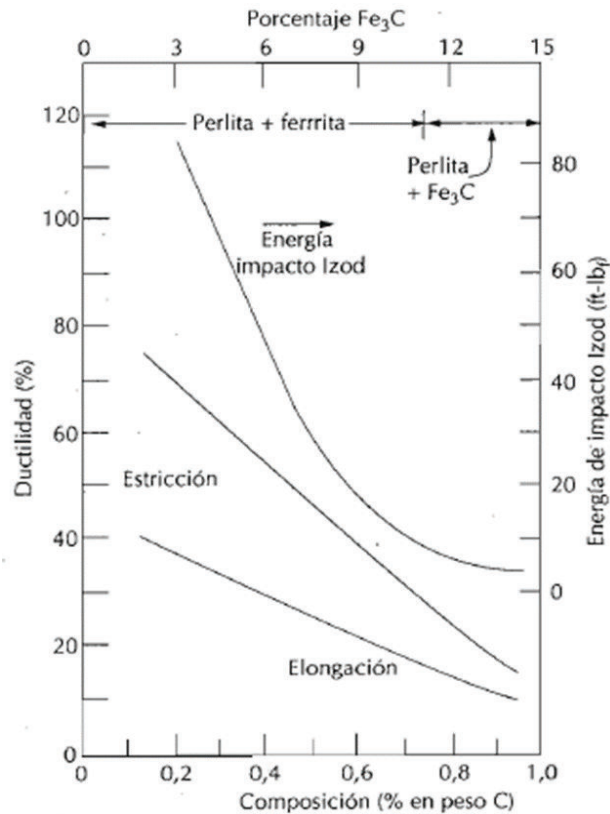


Figura 4.26. Ductilidad vs. Composición (% en peso C) ^[34]

Fuente: Callister Jr, William D. (1996). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. España: Reverte S. A. (P. 323).

La composición de carbono en función de la estricción se indica en la tabla 4.35

Tabla 4.35. Resultados de composición química de partes de automóviles

Id. probeta	1	2	3	4	5	6	7
C (%)	0,11	0,09	0,05	0,125	0,25	0,18	0,25

Con la composición química obtenida en el laboratorio se observa similitud de materiales según normas GM, ASTM, JIS y DIN entre las tablas 4.36, 4.37 y 4.38.

³⁴ Callister Jr., William D. (1996). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. España: Reverté S. A.

Tabla 4.36. Composición química máxima (% por masa) ^[35]

Designation GMW2M-ST-S ^{Note2, Note6, Note 7}				
Element	CR1, HR0	CR2, CR3, HR1, HR2, HR3	CR4	CR5Note 3
Carbon	0.13 max	0.10 max	0.08 max	0.02 max
Manganese	0.60 max	0.50 max	0.40 max	0.25 max
Phosphorus	0.035 max	0.025 max	0.025 max	0.020 max
Sulfur	0.035 max	0.020 max	0.020 max	0.020 max
Aluminum ^{Note 3, Note 5}	N/A	0.015 min	0.015 min	0.015 min
Nitrogen	0.008 max	N/A	N/A	N/A

Note 2: The letter C shall be added when a minimum Carbon content of 0.015% or 0.0003% (3ppm) Boron is required (i.e., R3C).

Note 3: Titanium, Niobium and other alloys (e. g., Boron) can be used in combination, for fully stabilized/killed products Stabilization alloys shall be reported.

Note 5: Total aluminum content (combined and free).

Note 6: NA = Not Applicable.

Note 7: Min = Minimum.

Fuente: General Motors Corporation (2008). Worldwide Engineering Standards Material Specification Metals GMW2. Estados Unidos. (p. 2).

Tabla 4.37. Composición química y propiedades mecánicas JIS G 3141

COMPOSICION QUÍMICA				
C	Mn	P	S	Si
0.12 máx.	0.45 máx.	0.04 máx.	0.045 máx.	(0.10 máx.)
PROPIEDADES MECÁNICAS				
Ruptura	% EI 2		Dureza	
274 min	32 – 39 min		(60 HRB máx.)	

Fuente: JIS G 3141 SPCC - SD

Tabla 4.38. Composición química y propiedades mecánicas ASTM A 366

COMPOSICIÓN QUÍMICA ASTM A 366 TIPO A			
C	Mn	P	S
0.10 máx.	0.60 máx.	0.03 máx.	0.035 máx.
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Ruptura	% EI 2		Dureza
140 -275	30 min		60 HRB máx.

³⁵ G M Corporation (2008). *Worldwide Engineering Standards Material Specification Metals GMW2*. Estados Unidos.

Tabla 4.38. Composición química y propiedades mecánicas ASTM A 366
(Continuación)

COMPOSICIÓN QUÍMICA ASTM A 366 TIPO B			
C	Mn	P	S
0.02 – 0.15	0.60 máx.	0.03 máx.	0.035 máx.
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Ruptura	% EI 2	Dureza	
140 - 275	30 min	60 HRB máx.	

Fuente: ASTM A 366

Obteniendo como resultado los materiales que se indican en la tabla 4.39.

Tabla 4.39. Tipo de material según normas

NORMAS	MUESTRAS						
	1	2	3	4	5	6	7
BS1449/1	CR4	CR4	CR4	CR4	CR4	CR4	CR1
ASTM	A366	A366	A366	A366	A366	A366	A620
JIS G 3141	SPCC	SPCC	SPCC	SPCC	SPCC	SPCC	SPCC- SPCEN
DIN 1623/1	St 12	St 12	St 12	St 12	St 12	St 12	St 14

Los aceros son identificados como de bajo contenido de carbono que varían entre (0,05 – 0,12%C), donde la composición química obtenida determina una gran variedad de elementos químicos, como el Manganeso que mejora la resistencia, el Fósforo, Silicio, y Azufre mejora la soldabilidad y resistencia a la intemperie, son considerados como normales en este tipo de aceros.

- El silicio, su característica es un componente desoxidante, no es recomendable en concentraciones mayor a 0.20% ya que dificulta la operación de soldadura por formación de sílice.
- El Manganeso, es un componente desoxidante y desulfurante al formar sulfuro de manganeso, evita la fragilidad en caliente de los aceros
- El Fósforo acrecienta la fragilidad de la ferrita, martensita y proporciona la segregación complementaria de carbono en cantidades con más de 1%

se precipita y se concentra en la estructura perlítica (zonas oscuras) el fenómeno se llama banda fantasma.

- El Azufre perjudica las propiedades es insoluble en Fe metálico, y responsable de la fragilidad, con el manganeso forma sulfuro de manganeso dando lugar a escoria básica y el resto forma inclusiones.

4.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis que se presenta a continuación se obtiene de las tablas 4.13 a 4.19 y 4.36 a 4.39 correspondientes a los ensayos de tracción, dureza y metalografía.

Guardafango derecho, Pick Up 3.0 diésel, colisión lateral

Es un acero de bajo contenido de carbono 0,05% con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es de aproximadamente 12, presenta una estricción de 70.35%, un espesor final de rotura cercano a 0.3 mm, la resistencia a la tracción es de 324,7 Mpa, y la dureza superficial corresponde a 73 en la escala Rockwell 15T y en la escala Brinell tiene un valor de 261, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación, muestran una disminución del 10.34% en la resistencia a la tracción, un 39.72% para la dureza superficial, un 30.07% en la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.45 mm de las muestras comparadas con las probetas estándar, esto se debe a que las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas

en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.

- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C, se observa una deformación parcial de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción decrece en un 8.56%, la dureza en un 19.17% y la estricción en 11.69% con un espesor final de rotura aproximado de 0.4 mm ya que al calentarse se elimina parte de las dislocaciones que impedían la creación de otras dislocaciones que ayudan a incrementar la resistencia.
- Como se pudo observar en los resultados obtenidos las probetas sean enderezadas a temperatura ambiente o con aplicación de calor, presentan cambios en las propiedades mecánicas como dureza, resistencia mecánica, tenacidad, elongación, entre otras propiedades. Lo que incrementa las posibilidades de falla (ruptura en unos casos y excesiva deformación en otros) de darse una posterior colisión.

Guardafango derecho, Sedán 1.4 colisión lateral

Es un acero de bajo contenido de carbono 0,07% con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es de aproximadamente 10, presenta una estricción de 75,91%, un espesor final de rotura cercano a 0.25 mm, la resistencia a la tracción es de 290,8 Mpa, y la dureza superficial en escala Rockwell 15T corresponde a 76 y en la escala Brinell tiene un valor de 282, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación muestran un incremento de 3.96% en cuanto a la resistencia a la tracción comparadas con las probetas estándar, esto se debe a que el elemento fue extraído en la dirección al conformado mecánico en cambio al comparar las durezas se observa que esta disminuye en un 32.89%, un

14.35% en la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.35 mm con relación a las probetas estándar, las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.

- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C., no se observa deformación apreciable de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción aumenta en un 6.67% en cuanto a la dureza esta disminuye en un 22.36% y un 11.17% en la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.3 mm, debido a que como se observa en la tabla 4.21 la probeta se rompe fuera del rango (resbalamiento de mordazas), y las dislocaciones son poco apreciables.
- Las probetas enderezadas a temperatura ambiente y con aplicación de calor, se estima cambios en las propiedades mecánicas como dureza, tenacidad, elongación, pero la resistencia a la tracción varía notablemente debido a los esfuerzos aplicados durante el ensayo. Lo cual mantiene las posibilidades de falla en un posterior choque en iguales condiciones.

Puerta Izquierda Sedán 1.4, colisión lateral

Es un acero de bajo contenido de carbono 0,05% con presencia de una gran cantidad de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es de aproximadamente 9 presenta una estricción de 70,60%, un espesor final de rotura cercano a 0.30 mm, la resistencia a la tracción es de 287,5 Mpa, y la dureza

superficial en escala Rockwell 15T corresponde a 73 y en la escala Brinell tiene un valor de 261, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación, muestran una disminución de la resistencia a la tracción del 14.95%, un 23.28% en la dureza superficial, un 10.93% en la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.40 mm de las muestras comparadas con las probetas estándar, esto se debe a que las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.

- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C, se observa un leve crecimiento de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción aumenta en un 3.26% en cuanto a la dureza esta disminuye en un 10.95% y un 26.91% en la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.45 mm, esto es debido a que como se observa en la tabla 4.22 la probeta se fragmenta fuera del tercio medio (resbalamiento de mordazas) y las dislocaciones no son muy apreciables.
- Las probetas enderezadas a temperatura ambiente y con aplicación calor, se estima la presencia de cambios en las propiedades mecánicas como la dureza, tenacidad, elongación pero la resistencia a la tracción varía notablemente aplicando calor, debido a los esfuerzos aplicados durante el ensayo. Lo cual amplía las posibilidades de falla en un posterior siniestro en iguales condiciones.

Capó Sedán 1.4, colisión frontal

Es un acero de bajo contenido de carbono 0.05%, con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a

continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es de aproximadamente 11, presenta una estricción de 69.05%, un espesor final de rotura cercano a 0.3 mm, la resistencia a la tracción es de 301,7 Mpa, y la dureza superficial en escala Rockwell 15T corresponde a 77 y en la escala Brinell tiene un valor de 294, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación, muestran una disminución del 1.12% en cuanto a la resistencia a la tracción, un 11.68% en la dureza superficial un 35.69% en la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.55 mm de las muestras comparadas con la probeta estándar, esto se debe al desplazamiento de las dislocaciones dando lugar a una deformación plástica y las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.
- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C., se observa un leve crecimiento de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción aumenta en un 3.31%, en cuanto a la dureza esta disminuye en un 16.88% y un 27.73% en la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.45 mm, esto es debido a que al calentarse el tamaño de grano mejora y ayuda incrementar la resistencia.
- En las probetas enderezadas a temperatura ambiente y con aplicación de calor, se aprecia cambios en las propiedades mecánicas como dureza, resistencia mecánica, tenacidad, elongación entre otras propiedades. Lo

cual incrementa las posibilidades de falla de una deformación y ruptura en una posterior colisión, basados en iguales condiciones del siniestro.

Capó color, Sedán 1.6, colisión frontal

Es un acero de bajo contenido de carbono 0,06% con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es de aproximadamente 14, presenta una estricción de 52,97%, un espesor final de rotura cercano a 0.4 mm, la resistencia a la tracción es de 497 Mpa, y la dureza superficial en la escala Rockwell 15T corresponde a 83 y en la escala Brinell tiene un valor de 425, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación muestran un incremento de 4.62% en cuanto a la resistencia a la tracción comparadas con las probetas estándar, esto se debe a que el elemento fue extraído en la dirección al conformado mecánico, al comparar las durezas se observa que esta disminuye en un 8.43%, un 7.07% en cuanto a la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.45 mm con relación a las probetas estándar, esto se debe al desplazamiento de las dislocaciones dando lugar a una deformación plástica y las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.
- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C., se observa un incremento de los granos de la microestructura, y la resistencia a la

tracción aumenta en un 15.23%, ya que al calentarse mejora el grano y ayuda a incrementar la resistencia a la tracción, en cuanto a la dureza esta disminuye en un 6.02% y un 18.70% en cuanto a la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.45 mm debido a que al calentarse se elimina parte de las dislocaciones que impedían la creación de otras dislocaciones que ayudan a incrementar la resistencia.

- En las probetas enderezadas a temperatura ambiente y con aplicación calor se aprecia que se presentan cambios en las propiedades mecánicas como dureza, tenacidad, elongación, pero la resistencia a la tracción varía notablemente debido a los esfuerzos aplicados durante el ensayo. Lo cual incrementa las posibilidades de deformación y ruptura en caso de una colisión posterior.

Compuerta, Sedán 1.8, colisión posterior

Es un acero de bajo contenido de carbono 0,08%, con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es aproximadamente de 10, presenta una estricción de 70,09%, un espesor final de rotura cercano a 0.3 mm, la resistencia a la tracción es de 287,5 Mpa, y la dureza superficial en escala Rockwell 15T, corresponde a 76 y en la escala Brinell tiene un valor de 282, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación muestran un incremento del 5.87% en cuanto a la resistencia a la tracción comparadas con las probetas estándar, esto se debe a que el elemento fue extraído en la dirección al conformado mecánico en cambio al comparar las durezas se observa que esta disminuye en un 40.78%, un 16.22% en cuanto a la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.4 mm con relación a las probetas estándar, esto se debe al

desplazamiento de las dislocaciones dando lugar a una deformación plástica y las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.

- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C., se observa un crecimiento de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción aumenta en 14.81%, ya que al calentarse las dislocaciones ayudan a incrementar la resistencia, en cuanto a la dureza esta disminuye en un 11.84%, un 7.88% en la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.3 mm esto se debe al desplazamiento de las dislocaciones dando lugar a una deformación plástica.
- Las probetas enderezadas a temperatura ambiente o con aplicación de calor, se aprecia cambios en las propiedades mecánicas como dureza, tenacidad, elongación, pero la resistencia a la tracción varía notablemente debido a los esfuerzos aplicados durante el ensayo. Lo cual incrementa las posibilidades de deformación y ruptura de darse un siniestro posterior.

Frontal delantero, Sedán 1.6, colisión frontal

Es un acero de bajo contenido de carbono 0.12%, con presencia de inclusiones no metálicas, la microestructura es de matriz ferrítica, los valores presentes a continuación corresponden al promedio realizado de las diferentes probetas utilizadas en los ensayos:

- En la probeta estándar el tamaño de grano es aproximadamente de 11, presenta una estricción de 62.15%, un espesor final de rotura cercano a 0.5 mm la resistencia a la tracción es de 436.5 Mpa y la dureza superficial en la escala Rockwell 15T corresponde a 73 y en la escala Brinell tiene

un valor de 261, los valores promedio de los resultados obtenidos en las probetas enderezadas en frío después de la reparación, muestran una disminución del 0.57% en cuanto a la resistencia a la tracción un 8.21% en la dureza superficial, un 8.84% en la estricción y un espesor final de rotura contiguo a 0.55 mm de las muestras comparadas con las probetas estándar, esto se debe al desplazamiento de las dislocaciones dando lugar a una deformación plástica y las probetas muestran diferentes espesores y la extracción de las mismas se realizó en direcciones aleatorias, lo que origina un cambio en cuanto a los valores reportados en los ensayos, la variación de espesores entre muestra y muestra no garantiza una homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción. Adicionalmente se puede agregar que las probetas enderezadas en frío posiblemente muestran diferentes tipos de tratamiento térmico y no se encuentran estandarizadas.

- En la probeta enderezada con aplicación de calor a 80°C., se observa una deformación parcial de los granos de la microestructura, la resistencia a la tracción decrece en un 1.71%, la dureza en un 20.54%, un 3.68% de la estricción con un espesor final de rotura aproximado a 0.5 mm ya que al calentarse se elimina parte de las dislocaciones que impedían la creación de otras dislocaciones que ayudan a incrementar la resistencia de forma proporcional.
- En uno u otro caso, se aprecia que se presentan cambios en las propiedades mecánicas como dureza, resistencia mecánica, tenacidad, elongación, entre otras propiedades. Lo que incrementa las posibilidades de falla (deformación en un caso y ruptura en otros) de darse un nuevo siniestro.

La deformación unitaria en las probetas de la uno a la siete, está entre 18.8% a 37% con una variación de 0.05% a 0.12% de carbono, tienen relación con las normas de composición química y propiedades mecánicas JIS G 3141 y ASTM A 366 tipo B con un porcentaje de carbono entre 0.02 a 0.15% y deformación

unitaria entre 30% a 39% y la estricción entre 43,06% a 75.91%, lo cual está dentro del rango especificado.

La resistencia a la fluencia para el grupo de probetas estándar se encuentra entre 200 a 390 Mpa, las probetas enderezadas en frío presentan valores entre 155.4 a 267.2 Mpa, observando que la resistencia disminuye y en las probetas enderezadas con calor varía entre 242 a 405.5 Mpa, en las cuales la resistencia de fluencia aumenta a valores mayores que el grupo de probetas estándar.

El límite de fluencia, de las probetas estándar varía de 199.9 a 389.9 Mpa, las probetas enderezadas en frío varía de 195.8 a 267.2 Mpa, y las probetas enderezadas con calor varía de 242 a 405.5 Mpa, con una elongación promedio que varía de 20% al 30% entre los extremos de las marcas de cada probeta.

De los resultados de análisis por espectrometría de chispa tabla 4.11 se determina que la concentración de elementos de aleación alcanzan un 2.70%, lo cual está dentro del 3% tolerable por el fabricante. Así el Mn está entre 0.11 a 0.68 %, P varía de 0.03 a 0.14%, S entre 0.02 a 0.14 % relacionado con la norma JIS G 3141 los valores máximos son Mn 0.45 %, P 0.4 %, S 0,045 %. Otros elementos como Cromo, Níquel, Cobre, Aluminio, Bismuto, Antimonio y Plomo, varían entre 0.87% a 0.44% en conjunto con los otros elementos dan un valor de 1.35% en total de elementos aleantes.

En los ensayos de dureza superficial escala Rockwell 15T, realizados en forma longitudinal en cinco puntos diferentes se observó en las probetas estándar una variación de 73 a 83, las probetas enderezadas en frío varía entre 44 a 76 donde su dureza disminuye y en las probetas enderezadas con calor varía entre 58 a 78 donde aumenta levemente.

La rotura de las probetas en la sección transversal, es aproximadamente a 45°, correspondiendo a un tipo fractura en banda diagonal, dentro del tercio medio, lo cual es una característica de los materiales dúctiles.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó de manera satisfactoria la relación que existe entre la microestructura, composición química, y propiedades mecánicas obtenidas en las probetas de los elementos de estudio, con las normas especificadas para materiales utilizados en panelería automotriz.
- Los ensayos experimentales de resistencia a la tracción, dureza, metalografía, y espectrometría de chispa, permiten la caracterización de las partes reparadas de vehículos siniestrados, principalmente en sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, las cuales influyen en el comportamiento del material.
- La caracterización de los materiales, es una alternativa en la homologación de partes automotrices que ingresan al país de acuerdo a normas nacionales e internacionales vigentes, dando lugar a que las empresas dedicadas a su manufactura, provean elementos confiables durante su funcionamiento.
- En base a las probetas estándar, los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la tracción, las probetas enderezadas a temperatura ambiente disminuyen en promedio 1.3% y las probetas enderezadas con aplicación de calor aumentan en 5%, así mismo respecto a los resultados obtenidos de los ensayos de dureza superficial en escala Rockwell 15T, las probetas enderezadas a temperatura ambiente disminuyen en promedio 23.35 % y las probetas enderezadas con aplicación de calor disminuyen en 15.25 %, esto implica que la deformación del grano en los elementos ensayados es irreversible, por lo que la reparación de componentes de la estructura deformable de vehículos no debe superar su reutilización en no más

de un siguiente evento y el siniestro inicial no supere un 30% de daño en el elemento.

- La validación de los resultados citados garantizan la fiabilidad, seguridad y prevención de daños físicos y económicos, en talleres de reparación como centros de colisiones autorizados por concesionarios y aseguradoras, permitiendo la toma idónea de decisiones para reparación o cambio de partes, basados en seguridad ante futuros eventos para propietarios, conductores, pasajeros y peatones.
- Analizados los resultados obtenidos de las probetas de un tipo de marca de automóvil se concluye que, las partes originales como aquellas que sirven de repuesto no concuerdan con el establecido en las normas GMW2M - ST- S / JIS G 3141 presentando valores diferentes en cuanto a espesores, resistencia mecánica y dureza lo que evidencia que las partes que sirven para repuesto no están homologadas.
- Al momento de suceder una colisión con otros autos no se garantiza por parte de los talleres que las piezas o elementos a reemplazar cumplan con las mismas condiciones mecánicas y características que el original, lo que permite justificar la creación de una entidad reguladora de todos aquellos elementos y partes que sirven de repuesto para automóviles después de un impacto o mantenimiento preventivo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar una simulación por elementos finitos contra barreras u obstáculos fijos de diferentes tipos de vehículos como furgonetas, turismos, autobuses, camiones, para observar el comportamiento de los materiales, en colisiones frontales, laterales y posteriores de vehículos siniestrados, con la finalidad de identificar mejoras en el diseño o selección de material.

- Realizar cursos de capacitación referente a información estadística de siniestralidad en el país, para los conductores de vehículos en general previa a la renovación de las licencias de conducir y no basados principalmente en valores de infracciones, leyes y reglamentos de tránsito, ello permitirá reducir el número de accidentes a nivel local y nacional.
- La línea de investigación debe continuar con el mismo interés técnico con la finalidad de brindar seguridad total, a las personas, ofreciendo así a los profesionales en reparación de partes automotrices criterios científicos para dar lugar a un proceso adecuado donde se garantice la calidad en un tiempo recomendado con una seguridad óptima.
- Se recomienda la creación de una institución que realice la homologación de partes y elementos automotrices, principalmente en seguridad, calidad y medio ambiente, en cooperación con las Politécnicas, Universidades e Institutos superiores del país.
- Para obtener datos más precisos en los ensayos de tracción se recomienda que todas las probetas en cada elemento tengan la misma orientación de extracción sea longitudinal, transversal o a 45° respecto a la dirección de laminación.

BIBLIOGRAFIA

- A. C. *centro de colisiones*. (2014).
- Agencia Nacional de Tránsito ANT Estadísticas. (2014). Dirección de Estudios y Proyectos. Quito – Ecuador.
- Aguilar Márquez Arturo, Valapai Vásquez Fabian. (2010). *Geometría, Trigonometría y Geometría Analítica*. (1ra. ed.). México: Prentice Hall.
- Alonso, J. M. (2002). *Técnicas del Automóvil. Chasis*. (7ma. ed.). Madrid, España: Thomson paraninfo.
- Beer, Ferdinand P. Johnston, Russel Jr. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica*. (7ma. ed.). México: McGraw Hill interamericana.
- Brambati, Gustavo. De Jorge Hernan. (2011). *Jaulas internas y barras externas antivuelco para camionetas pick – up*. Petrotecnia.
- Callister Jr., William D. (1996). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. España: Reverté S. A.
- Corsa Evo. (2002). *Manual de taller*.
- De Castro, Vicente. (1991). *Carrocería y pintura*. (3ra. ed.). Barcelona, España: CEAC.
- Elsevier Butterworth Heinemann. (2003). *Materials for Automobile Bodies Great Britain*.
- Escuela Politécnica Nacional. (2011). *Folleto guía de Ciencia de Materiales*. Quito, Ecuador.
- Escuela Politécnica Nacional. (2015). *Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV)*. Quito, Ecuador.
- Escuela Politécnica Nacional. *El automóvil, Manual de mantenimiento automotriz. Departamento de conversión y usos de la energía*.
- Escuela Politécnica Nacional. *Motores de Combustión Interna. Departamento de conversión y usos de la energía*.
- Feirer, John L. Lindbeck, John R. (2000). *Metal Tecnología y Proceso*. Madrid, España: Paraninfo S.A. Thomson Learning.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de Materiales*. (6ta. Ed.). México: Pearson Prentice Hall.

- Hibbeler, Russell C. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica*. (12va. Ed.). México: Prentice Hall.
- *Manual del Automóvil*. (2003). Barcelona, España: CEAC.
- Real Federación Española de Automovilismo. *Jaulas de Seguridad para Carrocerías*. Normas barra.
- Sánchez Gálvez, V. (1988). *Física de la plasticidad ETSI caminos, canales y puertos*.
- Seiro, D. (2012). *Resumen de la Norma ASTM E 112*.
- Shigley Joseph E., Mischke Charles R. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta. ed.). México: McGraw-Hill.
- Weber, Julián. (2009). *Automotive Development processes* Springer – verlag berlin Heidelberg.
- Wideberg, Johan. (2008). *Mecánica general, Aerodinámica* ESI, Sevilla.
- William F. Smith, Javad Hashemi. (2004). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, (4ta. Ed.). España: McGraw-Hill Interamericana.
- Wizhard. *Durómetros Tabla de Conversión de Dureza*. México: Mutitoyo mexicana S.A. de C. V.

NORMAS

- ASM Handbook. (2005). *Properties and Selection: Irons, Steels, and High performance Alloys*. (10th. edition). Volumen 1 United States.
- ASM. (2004). *Metals Handbook Metallography and Micro structures*. vol. 09 ASM International. United States.
- ASTM 370-10. (2010). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. Pennsylvania, United States.
- General Motors Corporation (2008). *Worldwide Engineering Standars Material Specification Metals GMW2*. Estados Unidos.
- INEN 1482. (1987-01). *Aceros. Determinación microscópica de inclusiones*. Quito, Ecuador.

- NTE INEN 0109-2009. (2009). *Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente*. (1ra. ed.). Quito, Ecuador.
- NTE INEN 2713. (2013-08). *Vehículos Automotores. Protección de sus Ocupantes en Choque frontal. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito – Ecuador.
- NTE INEN 2714. (2013-08). *Vehículos Automotores. Protección de sus ocupantes en choque lateral. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito – Ecuador.
- NTE INEN 2715. (2013-08). *Vehículos Automotores. Seguridad de los Peatones. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito – Ecuador.
- NTN INEN 1053 (1984). *Determinación de la dureza Rockwell Superficial*
- NTN INEN 1482. (1987). *Aceros. Determinación microscópica de inclusiones 1987-01*. Quito – Ecuador.
- NTN INEN –ISO 4030. (2005). *Vehículos automotores de identificación del vehículo (VIN) ubicación y colocación*. (Primera edición). Quito, Ecuador.


INTERNET


- Carrocerías de vehículos. (2013). Recuperado <http://alvaroyamahar6.blogspot.com/2013/11/carroceria-de-vehiculos-tipos-y.html>.
- Carrocerías y Chasis. (2008). Recuperado http://www.elchapista.com/chasis_carrocerias_vehiculos.html (noviembre 2014)
- Delgado Gonzales Alfonso. *Carrocerías de vehículos*. (2013). <https://alfonsodg7.wordpress.com/2013/10/20/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y-componentes/>

- Enciso, Gustavo. *Diversas aplicaciones de integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo*. Universidad Nacional de Noreste. <http://usuarios.lycos.es/accidentología/publicaciones.htm>
- Garbi Rodríguez, Alejandro. *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. (2014). Recuperado de <https://alexgarbi93.wordpress.com/.../tema-2-carrocerias-de-vehiculos-tip...>
- Historia de las Carrocerías (2008). http://elchapista.com/carrocerias_historia.html
- [http:// papers.sae.org/920607/](http://papers.sae.org/920607/)
- <http://corralesespinoza.wordpress.com/2013/10/21/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y-componentes/>
- <http://throwate.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y.html>
- http://www.mitutoyo.com.mx/Catalogo%20Digital/catalogo_secciones/dureza/files/12_hardness.pdf
- Sánchez Sergio. (2014). *Carrocerías de vehículos* <http://sergiosanchez13.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y.html>
- www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7643_metalografia.pdf
- www.virtualstatement.com/resoucers/stiffness_coe_db.aspx

ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS DE TRACCIÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA 
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO
 LAEV –MAR.35.15

Quito, 7 de abril de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: **Ing. Julio Cesar Guaguancela Sañaicela**

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas pertenecientes al Ing. Julio Cesar Guaguancela Sañaicela. Las muestras fueren entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS


1. **MUESTRAS:** Veinte y un (21) probetas de sección plana para para ensayo de tracción y veinte y un (21) probetas para ensayo de barrido de dureza.


2. **ENSAYO DE TRACCIÓN**

En las tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados del ensayo de tracción realizado en las probetas.

Tabla 1. Resistencia mecánica, límite de fluencia y elongación medidas en las probetas del grupo 1.

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
1-T1	12,84	0,67	628	2.793	38,1	262,9	47,1	324,7	36,5
1-T2	12,65	0,64	525	2.335	37,9	261,0	42,2	290,8	32,3
1-T3	12,99	0,66	550	2.447	29,0	199,9	41,7	287,5	37,0
1-T4	12,62	0,63	539	2.398	39,8	274,3	43,8	301,7	28,5
1-T5	13,35	0,72	1.066	4.742	56,6	389,9	72,1	497,0	20,6
1-T6	12,58	0,63	512	2.277	40,6	280,1	41,7	287,5	33,3
1-T7	12,50	1,02	1.245	5.538	47,0	324,0	63,3	436,5	25,4





ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
 Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV)

Página 1 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

Tabla 2. Resistencia mecánica, límite de fluencia y elongación medidas en las probetas del grupo 2.

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
2-T1	12,67	0,72	597	2.656	35,4	243,8	42,2	291,1	20,5
2-T2	12,35	0,64	533	2.371	34,4	237,0	43,8	302,3	32,6
2-T3	12,40	0,78	528	2.349	28,4	195,8	35,5	244,5	33,7
2-T4	12,57	0,63	531	2.362	38,8	267,2	43,3	298,3	23,1
2-T5	12,42	0,70	1.009	4.488	37,2	256,6	75,4	520,0	12,0
2-T6	12,92	0,63	557	2.478	30,7	211,7	44,1	304,4	13,8
2-T7	12,43	0,98	1.182	5.258	22,5	155,4	62,9	434,0	17,3

Tabla 3. Resistencia mecánica, límite de fluencia y elongación medidas en las probetas del grupo 3.

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
3-T1	12,73	0,73	616	2.740	37,6	259,2	43,1	296,9	28,4
3-T2	12,21	0,63	532	2.366	35,1	242,0	45,0	310,2	34,2
3-T3	13,16	0,65	571	2.540	35,8	247,0	43,1	296,9	32,2
3-T4	12,63	0,63	553	2.460	41,4	285,3	45,2	311,7	32,6
3-T5	12,58	0,71	1.150	5.115	58,8	405,5	83,1	572,7	8,6
3-T6	12,77	0,61	578	2.571	40,4	278,4	47,9	330,1	20,1
3-T7	12,58	1,03	1.245	5.538	49,4	340,3	62,2	429,0	16,9

La curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestra en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

3. ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA ROCKWELL

En las tablas 4, 5 y 6 se muestran los resultados del ensayo de barrido de dureza.



LAEV-EPN



Página 2 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

Tabla 4. Resultados de los ensayos de barrido de dureza en las probetas del grupo 1.



Id.	Escala Rockwell 15-T					Promedio
	1	2	3	4	5	
1-D1	67	73	74	74	75	73
1-D2	76	76	76	76	76	76
1-D3	73	73	73	74	74	73
1-D4	77	77	77	77	77	77
1-D5	82	83	83	83	84	83
1-D6	75	75	76	77	77	76
1-D7	72	72	73	74	74	73

Tabla 5. Resultados de los ensayos de barrido de dureza en las probetas del grupo 2.

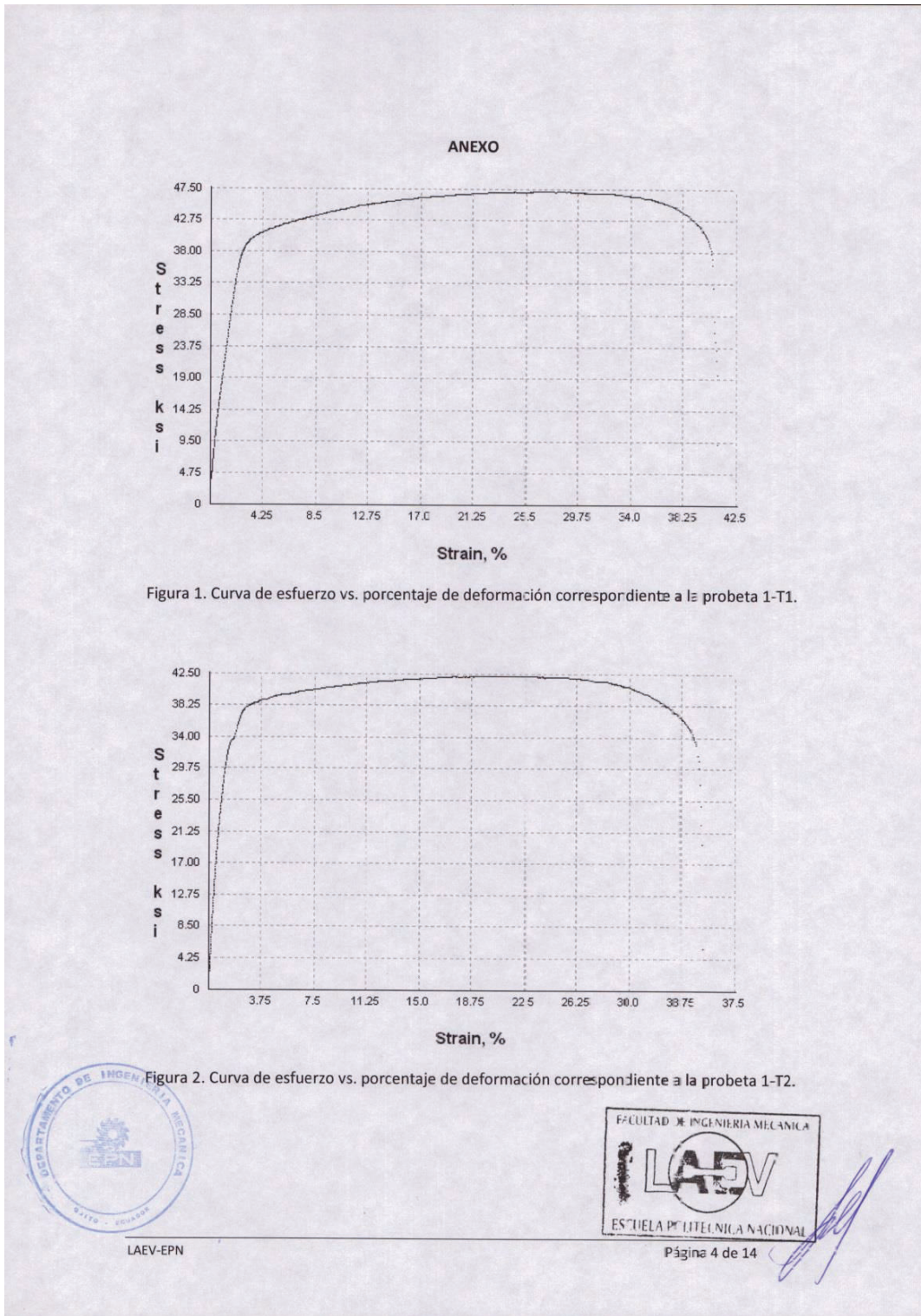
Id.	Escala Rockwell 15-T					Promedio
	1	2	3	4	5	
2-D1	33	35	44	54	56	44
2-D2	41	45	49	50	71	51
2-D3	39	48	55	68	70	56
2-D4	57	64	71	73	75	68
2-D5	69	70	77	81	82	76
2-D6	34	35	44	48	63	45
2-D7	60	68	68	68	70	67

Tabla 6. Resultados de los ensayos de barrido de dureza en las probetas del grupo 3.

Id.	Escala Rockwell 15-T					Promedio
	1	2	3	4	5	
3-D1	31	60	66	68	71	59
3-D2	36	53	67	68	69	59
3-D3	55	65	67	68	68	65
3-D4	51	56	68	73	73	64
3-D5	62	78	81	84	85	78
3-D6	64	66	68	68	68	67
3-D7	51	52	58	65	66	58

 Ing. Salvatore Reina M.Sc.
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

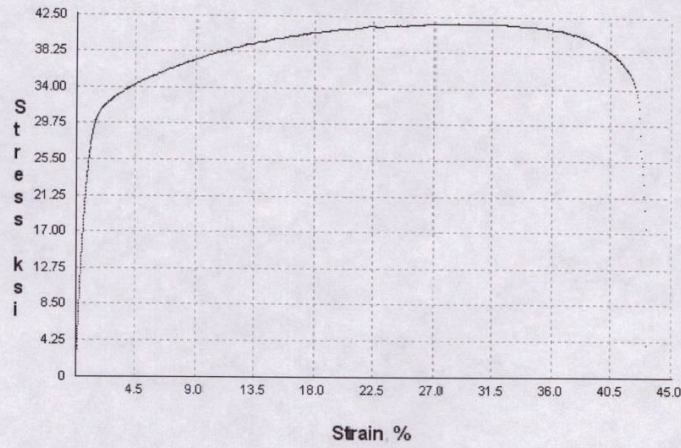


Figura 3. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 1-T3.

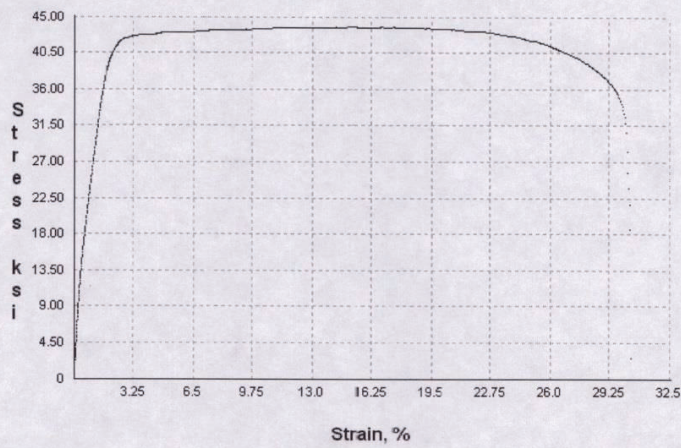


Figura 4. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 1-T4.



LAEV-EPN



Página 5 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

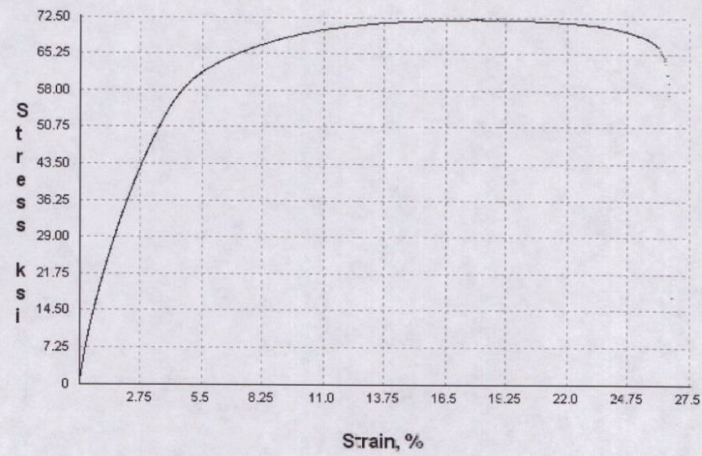


Figura 5. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 1-T5.

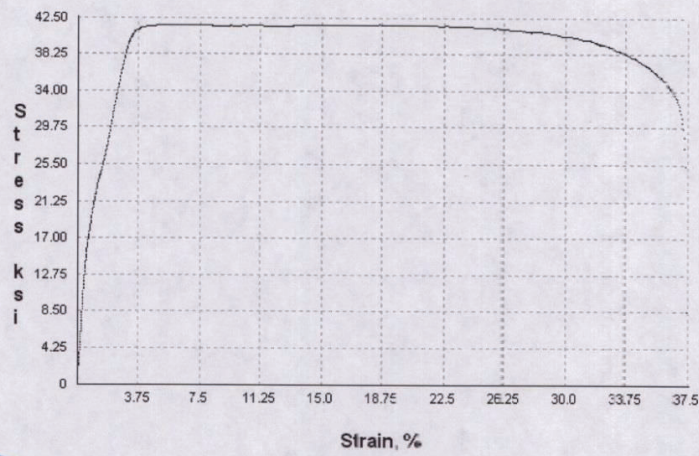
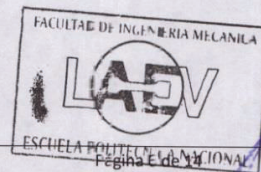


Figura 6. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 1-T6.



LAEV-EPN



Página 1 de 2

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

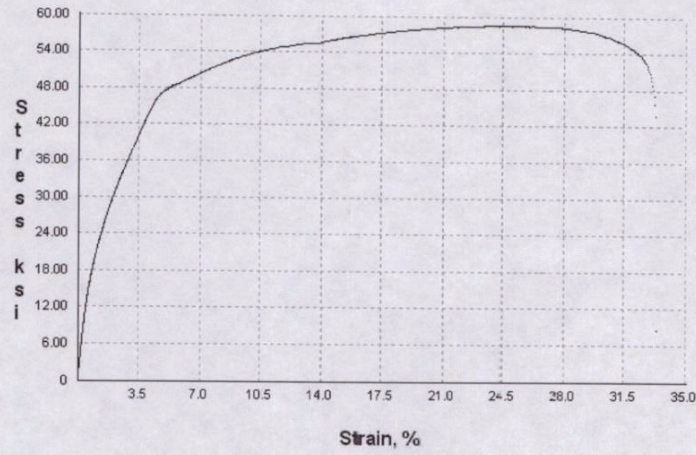


Figura 7. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 1-T7.

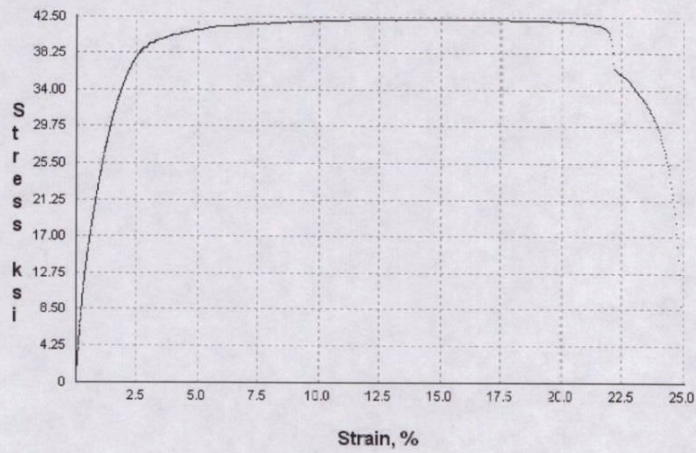


Figura 8. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T1.



LAEV-EPN



Página 7 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

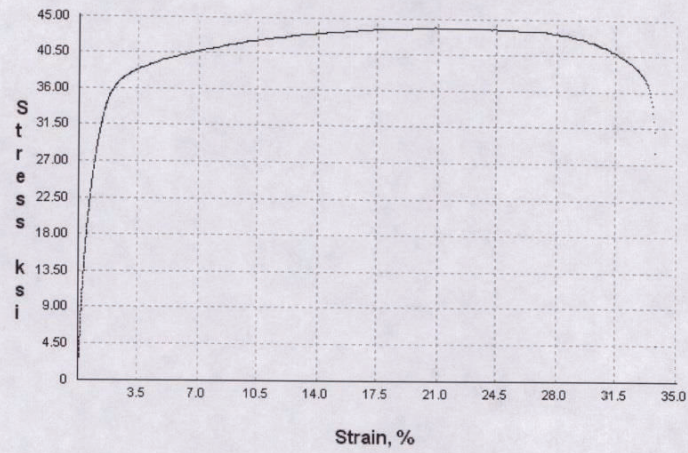


Figura 9. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T2.

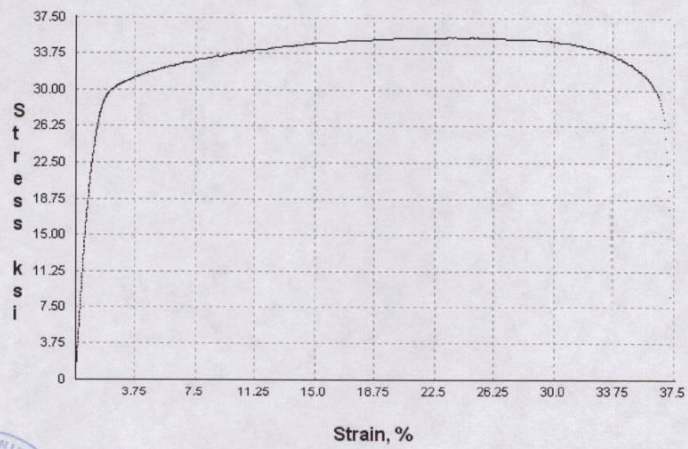


Figura 10. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T3.



LAEV-EPN



Página 8 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

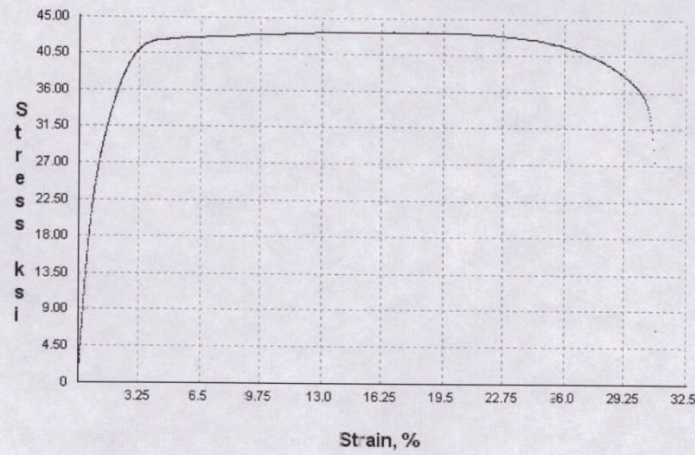


Figura 11. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T4.

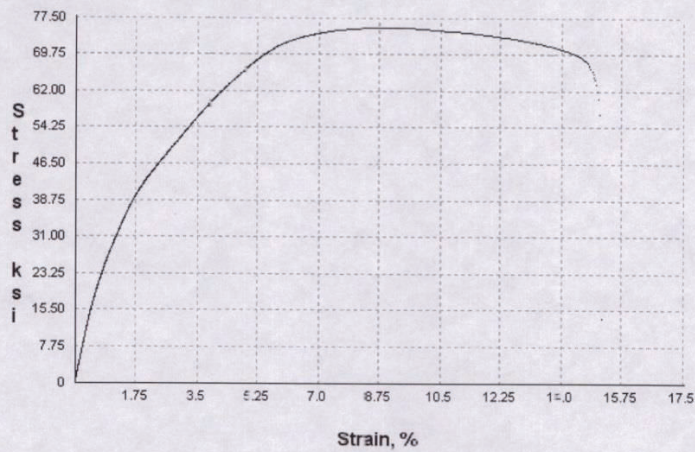


Figura 12. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T5.



LAEV-EPN



Página 9 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

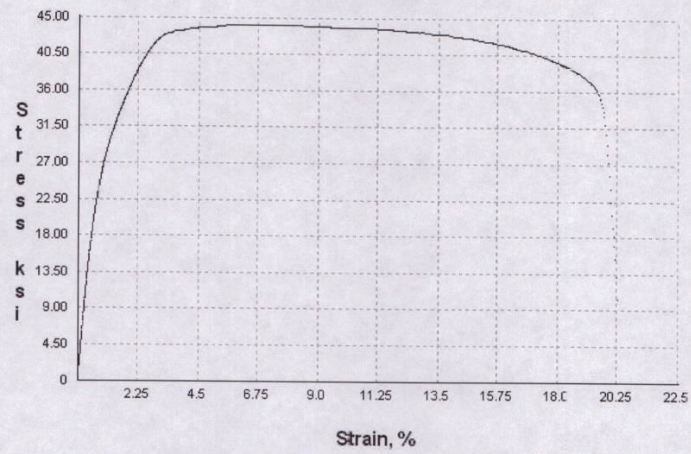


Figura 13. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T6.

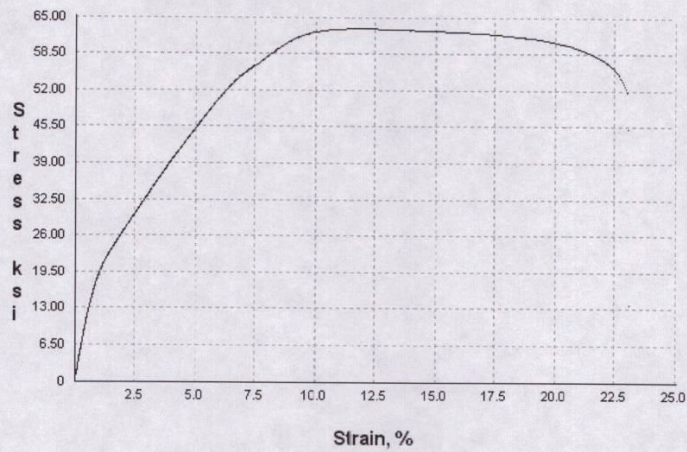


Figura 14. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 2-T7.



LAEV-EPN



Página 10 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

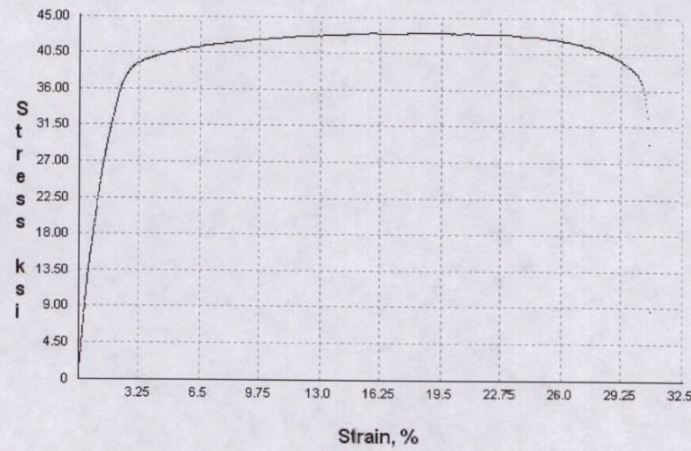


Figura 15. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T1

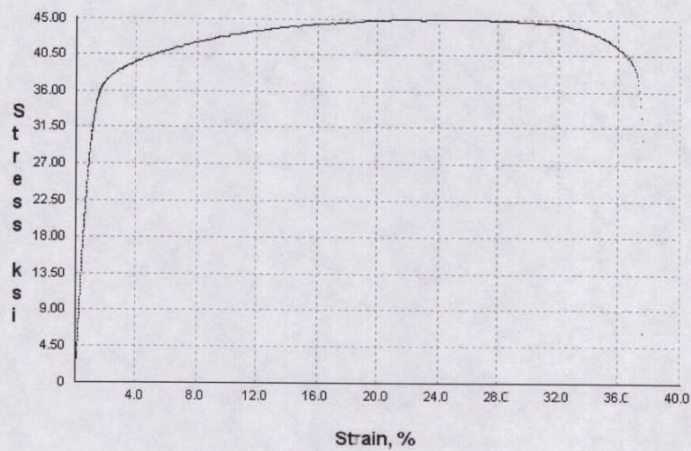


Figura 16. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T2.



LAEV-EPN



Página 11 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

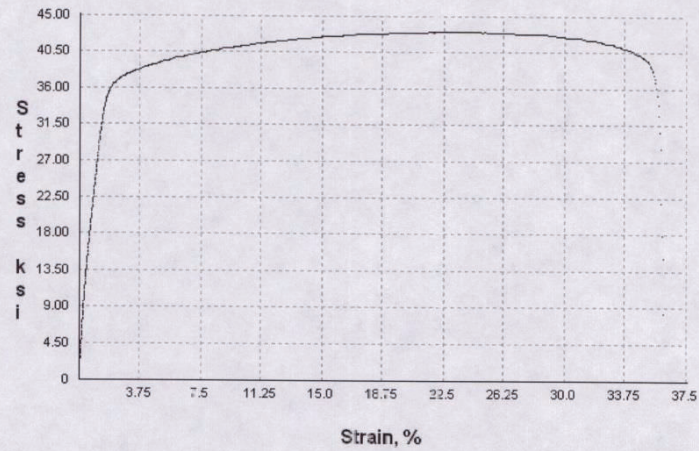


Figura 17. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T3.

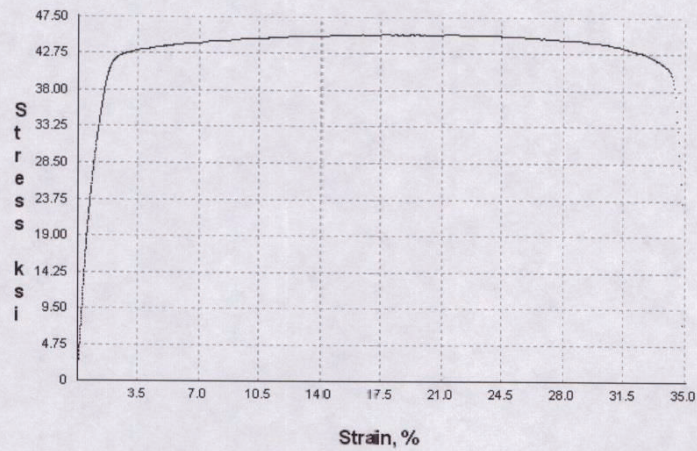
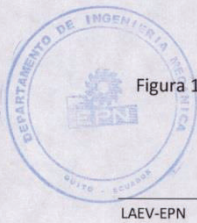
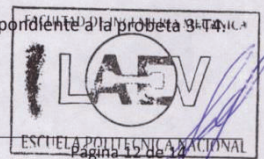


Figura 18. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T4.



LAEV-EPN



Página 12 de 12

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

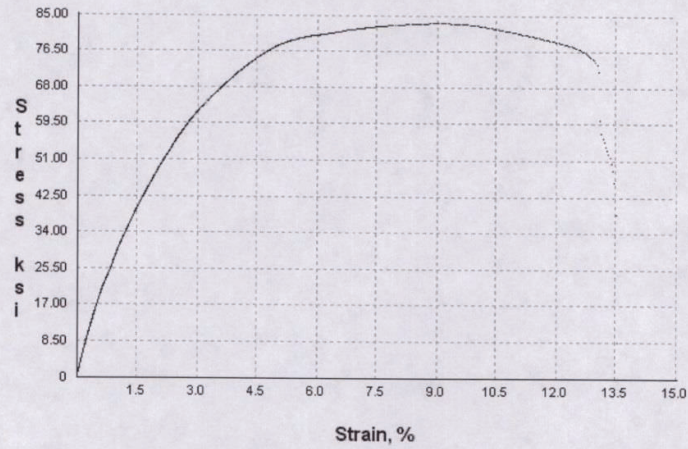


Figura 19. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T5.

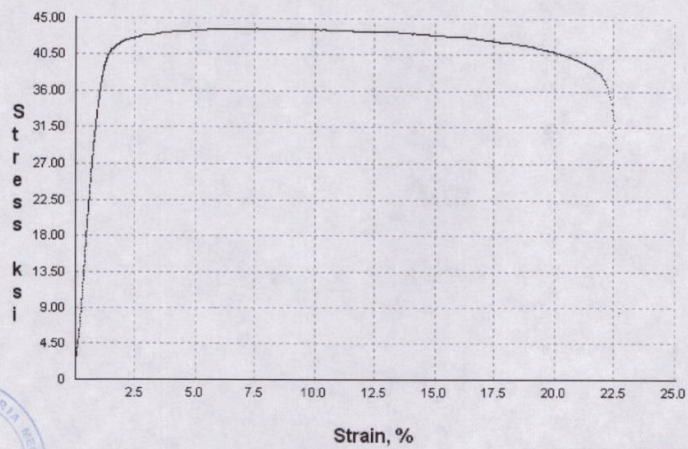
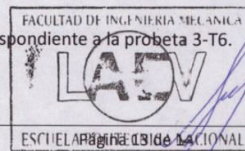


Figura 20. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T6.



LAEV-EPN



ESQUELA NACIONAL

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

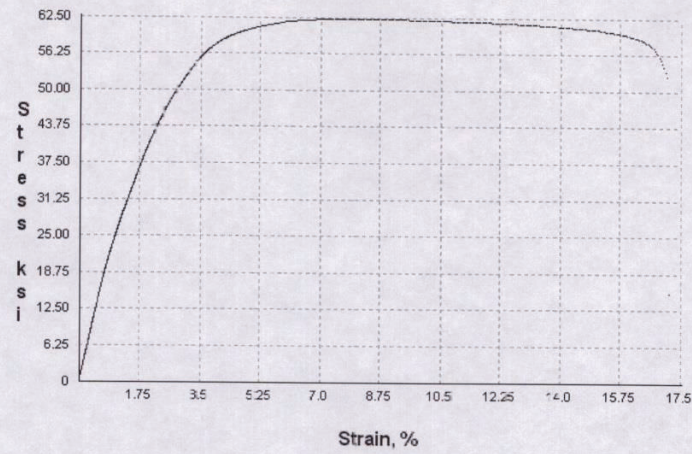


Figura 21. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación correspondiente a la probeta 3-T7.




LAEV-EPN




Página 14 de 14

Fuente: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV). Quito, Ecuador.

ANEXO 2. RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE CHISPA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

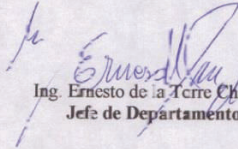



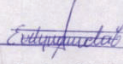
Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Ing. César Gueguarcela
 No. Referencia : RM - 8336
 Fecha : 29 - 09 - 2015
 Muestras recibidas : Siete placas metálicas

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	#1 (%)	#2 (%)	#3 (%)
Carbono (C)	0,05	0,07	0,05
Silicio (Si)	0,03	0,02	0,02
Manganeso (Mn)	0,12	0,06	0,11
Fósforo (P)	0,14	0,14	0,13
Azufre (S)	0,14	0,10	0,11
Cromo (Cr)	0,03	0,02	0,02
Níquel (Ni)	0,02	0,02	0,02
Cobre (Cu)	0,03	0,01	0,02
Aluminio (Al)	0,03	0,07	0,05
Bismuto (Bi)	0,02	0,02	0,01
Antimonio (Sb)	0,02	0,03	0,03
Plomo (Pb)	0,05	0,03	0,04
Hierro (Fe)	99,13	99,18	99,21


 Ing. Ernesto de la Torre Ch. Ph.D.
Jefe de Departamento



 MSc. Evelyn Criollo T.
Jefe de Laboratorio

1/3

Pasaje Ancallica 134 E124, y Mena Caamaño - TeleFax (593-2) 2 236 562 - Casilla 17-01-2759
Quito-Ecuador

Fuente: Departamento de metalurgia extractiva EPN. Quito, Ecuador.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

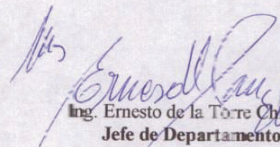


Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

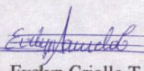
Solicitante : Ing. César Gaguancela
No. Referencia : RM - 8336
Fecha : 29 - 09 - 2015
Muestras recibidas : Siete placas metálicas

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	#4 (%)	#5 (%)	#6 (%)
Carbono (C)	0,05	0,06	0,08
Silicio (Si)	0,03	0,03	0,01
Manganeso (Mn)	0,16	0,53	0,09
Fósforo (P)	0,09	0,12	0,03
Azufre (S)	0,10	0,08	0,24
Cromo (Cr)	0,02	0,08	0,02
Níquel (Ni)	0,01	0,01	0,01
Cobre (Cu)	0,01	0,01	0,02
Aluminio (Al)	0,06	0,07	0,19
Bismuto (Bi)	0,02	0,02	0,03
Antimonio (Sb)	0,02	0,02	0,02
Plomo (Pb)	0,06	0,06	0,02
Hierro (Fe)	99,17	97,30	99,36


Ing. Ernesto de la Torre Ch. PhD
Jefe de Departamento




MSc. Evelyn Criollo T.
Jefe de Laboratorio

2/3

Fuente: Departamento de metalurgia extractiva EPN. Quito, Ecuador.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

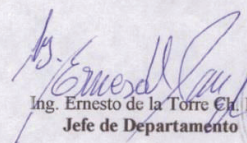


Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

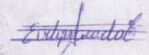
Solicitante : Ing. César Gaguancela
 No. Referencia : RM - 8336
 Fecha : 29 - 09 - 2015
 Muestras recibidas : Siete placas metálicas

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	#7 (%)
Carbono (C)	0,12
Silicio (Si)	0,06
Manganeso (Mn)	0,56
Fósforo (P)	0,12
Azufre (S)	0,02
Cromo (Cr)	0,02
Níquel (Ni)	0,01
Cobre (Cu)	0,02
Aluminio (Al)	0,03
Bismuto (Bi)	0,02
Antimonio (Sb)	0,01
Plomo (Pb)	0,02
Hierro (Fe)	98,65


 Ing. Ernesto de la Torre Ch. Ph.D.
 Jefe de Departamento




 MSc. Evelyn Criollo T
 Jefe de Laboratorio

3/3

Fuente: Departamento de metalurgia extractiva EPN. Quito, Ecuador.

ANEXO 3. CONVERSIÓN DE DUREZA

Tabla de Conversión de Dureza

The image shows a detailed conversion table for hardness. It is divided into two main sections. The left section contains scales: Rockwell C (HRC), Brinell (HB), Vickers (HV), and Rockwell B (HRB). The right section contains scales: Rockwell C (HRC), Brinell (HB), Vickers (HV), and Rockwell B (HRB). Each scale has a column for the scale name and a column for the numerical value. The table provides conversion factors and corresponding values for each scale.

Fuente: Wizhard. *Durómetros Tabla de Conversión de Dureza*. México: Mutitoyo mexicana S.A. de C. V.

920607

A Method for Quantifying Vehicle Crush Stiffness Coefficients

James A. Neptune, George Y. Blair, and James E. Flynn
Blair, Church & Flynn Consulting Engineers

ABSTRACT

The accuracy of an accident reconstruction, which employs the damage analysis feature of the CRASH3 computer program, is directly related to the accuracy of the crush stiffness coefficients employed. Crush stiffness coefficients, however, are available only through a limited number of publications and for a limited number of vehicles. In addition, assumptions made in the determination of these published stiffness coefficients bring their accuracy into question and, as a result, limit their value to a reconstructing engineer. It is concluded, therefore, that an engineer must use a critical eye when viewing the results of a CRASH3 reconstruction in which these stiffness coefficients were employed.

A method is set forth for quantifying stiffness coefficients from crash test data available in a database which can be obtained from the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). This method will allow reconstructing engineers to have a greater level of confidence in the results of an accident reconstruction in which the damage analysis feature of CRASH3 is employed.

INTRODUCTION

The CRASH3 computer program is increasingly being used as a tool by engineers to reconstruct automobile accidents. The damage analysis portion of CRASH3 provides a means to evaluate the energy expended during the collision phase

of an automobile accident. This crush energy can then be used in a separate conservation of energy analysis to reconstruct an automobile accident with greater confidence than in the past when CRASH3 was not available. The CRASH3 damage analysis also provides an engineer with a method for quantifying the momentum exchange associated with a collision through the use of a delta-V.

The accuracy of the CRASH3 damage analysis, however, is dependent on the accuracy of the crush stiffness coefficients input into the program. The saying "garbage in, garbage out" applies to all computer programs and CRASH3 is not an exception. A comparison of the crush energy associated with a certain crush depth indicates that a high degree of variation exists in the stiffness characteristics of different vehicles [1]. An inaccuracy of 10% in the stiffness coefficients can result in an inaccuracy in excess of 6% in the determination of delta-V [2]. As a result of this potential inaccuracy, a reconstructing engineer should associate a confidence level with the results of the damage analysis which reflects the accuracy of the stiffness coefficients which were used in CRASH3. Confidence levels which reflect a high potential for inaccuracy, however, degrade an engineer's ability to render a meaningful opinion.

The limited availability and accuracy of stiffness coefficient data is becoming a problem of increasing importance as more

*The numbers in the brackets refer to references listed at the end of the paper.

engineers use CRASH3 as a tool in accident reconstruction. Crush stiffness data is available from two sources, both of which have deficiencies. The first is the CRASH3 User's Guide and Technical Manual which contains a table of stiffness coefficients [3]. Vehicles are grouped in this table into 8 categories with each category assigned a single set of stiffness coefficients. The use of these values assumes that similar sized vehicles have similar stiffness characteristics. This assumption is clearly contrary to the aforementioned high degree of variance in stiffness characteristics. The crush energy determined with these values, therefore, should be considered to have a high probability for significant inaccuracy.

A second source of stiffness coefficient data is Engineering Dynamics Corporation (EDC). EDC published a reference manual in 1987 which contains 590 sets of stiffness coefficients for vehicles which were built before 1985 [4]. The calculation method used to determine the stiffness coefficients for angled Frontal Fixed Barrier (FFB) collisions did not take into account the manner in which CRASH3 adjusts the crush energy for a non-perpendicular Principle Direction of Force (PDOF). This resulted in the determination of high stiffness coefficients for these vehicles. When these high stiffness coefficients are used in a reconstruction involving a non-perpendicular PDOF, CRASH3 adjusts the crush energy for the non-perpendicular PDOF and, as a result, the inaccuracy in the stiffness coefficients is magnified. This could result in the determination of an extremely high crush energy.

The calculation method employed by EDC also used an average value for the crush depths of each vehicle. The use of an average crush depth assumes that the crush profile is uniform. This assumption reduces the accuracy of the calculated stiffness coefficients to the extent that the crush profile was not uniform. This reduction in accuracy is due to crush energy being proportional to the square of the crush depth. An engineer using stiffness coefficients from the EDC reference manual should review the corresponding original crash test data to determine an appropriate level of confidence in the accuracy of the stiffness coefficients. Applying stiffness coefficients from this source to similar

vehicles built after 1984 also should be accompanied by a determination of an appropriate confidence level.

The objective of this paper is to provide engineers with an alternative to using these published stiffness coefficients. A method is set forth which will allow an engineer to determine stiffness coefficients from the crash test data which can be obtained from the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). The Vehicle Crash Test Data Base (VCTDB), which is a compilation of reports on crash tests performed under contract for the Office of Vehicle Research, can be obtained from the NHTSA on magnetic tape [5]. Individual reports also can be obtained from the NHTSA on microfiche.

The VCTDB contains crash test data for in excess of 1000 post-1979 model year vehicles. The following crash test configurations are included in the VCTDB:

1. Frontal Fixed Barrier (FFB) Collisions
2. Angled FFB Collisions
3. Frontal/Rear Movable Barrier Collisions
 - Deformable Barriers (F/RMDB) and
 - Non-deformable Barriers (F/RMNB)
4. Side Movable Deformable Barrier (SMDB) Collisions

This paper will address a method for quantifying stiffness coefficients for FFB collisions, angled FFB collisions and F/RMNB collisions. The method for determining the stiffness coefficients for collisions with deformable barriers is complicated by the need to determine the energy expended in the crushing of the deformable barrier. The SMDB collisions are further complicated by the need to determine the post collision rotational energy of the test vehicle and the barrier. The later test configurations can be addressed in a future paper.

DISCUSSION

History

Campbell presented data which defined a linear relationship between the collision speed of an automobile and the magnitude of the resulting crush in FFB collisions [6].

This relationship was described by the linear equation:

$$V = b_0 + b_1 C \quad (1)$$

Campbell in determining the slope, b_1 , extrapolated the slope to zero crush. This resulted in intercepts, b_0 , which ranged from 3.0 to 6.85 mph. These values are representative of the 1971-1974 model year domestic vehicles used in the analysis.

Campbell used this linear relationship as a basis for a model of the force-deflection characteristics of the front end of an automobile. He assumed that the force exerted on an automobile per unit width of crush, is linearly proportional to the crush depth.

$$F = A + BC \quad [\text{lb/in}] \quad (2)$$

where:

A = the stiffness coefficient which represents the maximum force per unit width of the contact area which produces no crush, [lb/in]

B = the stiffness coefficient which represents the ratio of the force per unit width of the contact area to the crush depth, [lb/in²]

C = the crush depth, [in].

A comparison of the crush energy per unit weight of the test vehicles was used by Campbell to rate the severity of the collisions. He defined this energy as an Equivalent Barrier Speed (EBS).

$$\text{Crush Energy (E)} = \frac{W}{2g} (\text{EBS})^2 \quad (3)$$

The crush energy also could be determined by integrating the force-deflection equation (2) over the crush depth, L, and the crush width, C. The energy absorbed by a vehicle which produces no residual crush was treated by Campbell as being a constant.

$$E = \int_0^L \int_0^C (A + BC) dC dL + \text{Constant} \quad (4)$$

By substituting equation (1) for the EBS term in equation (3), equating this with

equation (4) and integrating over a uniform crush profile, Campbell demonstrated that the stiffness coefficients, A and B, could be expressed as functions of b_0 and b_1 .

$$A = \frac{W b_0 b_1}{gL} \quad (5)$$

$$B = \frac{W b_1^2}{gL} \quad (6)$$

$$\text{Constant} = \frac{W}{2g} b_0^2 \quad (7)$$

Equations (5), (6) and (7) were then substituted back into equations (3) and (4).

$$\frac{W(\text{EBS})^2}{2g} = \frac{W}{gL} \int_0^L \int_0^C (b_0 b_1 - b_1^2 C) dC dL + \frac{W b_0^2}{2g} \quad (8)$$

Campbell solved for the EBS by integrating equation (8) over a non-uniform crush profile where the crush profile was described by two crush depths, C_1 and C_2 . This resulted in the EBS being expressed as a function of b_0 and b_1 .

The CRASH3 algorithm is based on Campbell's work and likewise assumes that a linear force-deflection model adequately describes the structural characteristics of the front end of vehicles [3]. The CRASH3 algorithm, however, extends this assumption to include the side and rear end of vehicles. The crush profile in the CRASH3 algorithm also is defined by up to 6 equally spaced crush depths.

Two major differences exist between Campbell's EBS and the CRASH3 algorithm. CRASH3 treats the absorbed energy that produces no residual crush as being proportional to the contact width rather than as a constant. Equation (7) is rewritten to reflect this change.

$$\frac{W}{2g} b_0^2 = \frac{W b_0^2}{2gL} = \frac{A^2}{2B} \quad (9)$$

CRASH3 also models the collision phase with rigid-body kinetics. As a result, collision severity is expressed in terms of a delta-V which is the speed change experienced during the collision phase.

Equation (8) is rewritten in CRASH3 in terms of delta-V and the stiffness coefficients, A and B, and is integrated

based upon a trapezoidal approximation of the crush profile defined by crush depths C_1 through C_6 . The resulting equation is used by CRASH3 to describe the crush energy.

$$E = \frac{L}{5} \left(\frac{Aa}{2} + \frac{Bb}{6} + \frac{5A^2}{2B} \right) + \frac{W}{2g} (\Delta V)^2 \quad (10)$$

where: $a = C_1 + 2(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) + C_6$

$$b = C_1^2 + 2(C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + C_5^2) + C_6^2 + C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4 + C_4C_5 + C_5C_6$$

$C_1 - C_6 =$ crush depth, [in]

METHOD

FFB Collisions

Equations (5) and (6) define the stiffness coefficients as a function of b_0 and b_1 . If a reasonable approximation for b_0 of 5 mph is substituted into these equations, b_1 is the only term which can not be obtained directly from the test data included in the VCTDB*. The slope, b_1 , can be determined by rewriting equation (1).

$$b_1 = \frac{V - b_0}{C} \quad (11)$$

This equation is applicable to FFB collision test data where the crush, C , is uniform. This is the method used by EDC in their reference manual (4). For test data which meets this restriction, the stiffness coefficients can be quantified by substituting equation (11) into equations (5) and (6) and performing a units conversion.

$$A = \frac{0.802 W b_0 (V - b_0)}{LC} \quad [\text{lb/in}] \quad (12)$$

$$B = \frac{0.802 W (V - b_0)^2}{LC^2} \quad [\text{lb/in}^2] \quad (13)$$

*Analysis has been performed on crash test data obtained from the VCTDB [1]. This analysis indicates that 5 mph is a reasonable value for b_0 for FFB collisions.

where: $b_0 =$ FFB collision speed which coincides with the onset of crush, [mph]

$C =$ uniform crush depth, [in]

$L =$ crush profile width, [in]

$W =$ vehicle weight, [lb]

$V =$ FFB collision speed, [mph]

For FFB collisions where the crush profile is not uniform, equation (10) needs to be rewritten in terms of b_0 and b_1 and rearranged to solve for b_1 [mph/in].

$$b_1 = -b_0 + \frac{\sqrt{(b_0 a)^2 - \frac{20W}{3}(b_0^2 - V^2)}}{\frac{2}{3}a} \quad (14)$$

Next a dimensional analysis applied to equations (5) and (6) yields:

$$A = \frac{0.802 W a b_1}{L} \quad [\text{lb/in}] \quad (15)$$

$$B = \frac{0.802 W b_1^2}{L} \quad [\text{lb/in}^2] \quad (16)$$

Finally the determined value for b_1 can be used in equations (15) and (16) to quantify the stiffness coefficients for FFB collisions involving non-uniform crush profiles.

Angled FFB Collisions

During angled FFB collisions the intervehicular force does not act along a line perpendicular to the surface of the involved side of the vehicle. The crush depth, however, is measured perpendicular to the surface of the vehicle. An adjustment, therefore, needs to be made to account for the additional distance over which the surface of the vehicle is displaced while being crushed along this non-perpendicular line of action. The CRASH3 program accounts for this additional distance by multiplying the crush energy by an energy correction factor.

$$E_{\text{corrected}} = E \left(\frac{1}{\cos^2 \theta} \right) = \frac{E}{\cos^2 \theta} \quad (17)$$

where:

Theta = the angle between the PDOF and a line perpendicular to the involved surface.

Rearranging equation (17) and solving for the uncorrected crush energy in terms of the collision speed yields:

$$E = \frac{W}{2g} (V)^2 \cos^2 \theta = \frac{W}{2g} (V \cos \theta)^2 \quad (18)$$

This produces an effective speed term which accounts for the energy correction factor used in CRASH3.

$$V_{eff} = V \cos \theta \quad (19)$$

Equation (14) then can be rewritten for angled FFB collisions. It should be noted that equation (11) can not be used due to the non-uniform crush profiles which result from angled FFB collisions.

$$b_1 = \frac{-b_0 \alpha + \sqrt{(b_0 \alpha)^2 - \frac{20\beta}{3} (b_0^2 - V_{eff}^2)}}{\frac{2}{3} \beta} \quad (20)$$

Equation (20) can now be used to solve for b_1 [mph/in]. This value then can be used in equations (15) and (16) to quantify the stiffness coefficients, A and B, for angled FFB collisions.

F/RMNB Collisions

The use of movable barriers require that an additional energy balance be performed. This energy balance can be used to produce an effective speed term, $V_{v,eff}$ [mph], which represents the energy expended in producing the vehicular crush (4).

$$V_{v,eff} = \sqrt{\frac{W_b}{W_v} (V_{b1}^2 - V_{b2}^2) + (V_{v1}^2 - V_{v2}^2)} \quad (21)$$

where:

V_{b1} = barrier collision speed, [mph]
 V_{b2} = barrier separation speed, [mph]
 V_{v1} = vehicle collision speed, [mph]
 V_{v2} = vehicle separation speed, [mph]
 W_b = barrier weight, [lb]
 W_v = vehicle weight, [lb]

After obtaining these values from the VCTDB, equation (21) can be solved. The value of $V_{v,eff}$ then can be used in a rewritten form of equation (14) to solve for b_1 [mph/in].

$$b_1 = \frac{-b_0 \alpha + \sqrt{(b_0 \alpha)^2 - \frac{20\beta}{3} (b_0^2 - V_{v,eff}^2)}}{\frac{2}{3} \beta} \quad (22)$$

The stiffness coefficients from a F/RMNB collision then can be quantified by applying the value of b_1 in equations (15) and (16).

SUMMARY

1. The need for accurate stiffness coefficients was identified. The limited availability and accuracy of published stiffness coefficients were discussed. A source for obtaining crash test data is available. The reconstructing engineer, however, must be able to convert the test data into stiffness coefficients.
2. A brief history of the evolution of the CRASH3 algorithm was discussed.
3. A method was set forth for quantifying the stiffness coefficients, A and B, for FFB collisions, angled FFB collisions and F/RMNB collisions.
4. When reconstructing an automobile accident, the use of the quantified stiffness coefficients should reduce the inaccuracy involved in determining the crush energy. The reconstructing engineer, however, still should use an appropriate confidence level which reflects the possible inaccuracy in measurements and in the assumed linear force-deflection characteristics used in the CRASH3 algorithm.

REFERENCES

1. Strother, C., R. Woolley and M. James, "A Comparison Between NHTSA Crash Test Data and CRASH3 Frontal Stiffness Coefficients", SAE Paper 900101, 1990.
2. Smith, Russell A. and J. Thomas Noga, "Accuracy and Sensitivity of CRASH" SAE Paper 821169, 1982.