

Análisis de aleaciones comerciales en la fabricación de rines de la industria automotriz

RESUMEN: El siguiente artículo presenta el análisis de rines de aluminio. Se analizaron los materiales y las propiedades que tienen los rines incluyendo el valor estético, además, se abordaron temas como el proceso de conformado, el costo del material, manufactura y aplicación. El método más conveniente para la fabricación de los rines para el caso del aluminio es el forjado, obteniéndose rines de una sola pieza. Se tomaron en cuenta factores ambientales, ya que, en la producción, los contaminantes habituales son variados tal como emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y aguas residuales. Se tomó como referencia 5 muestras, de distintos automóviles, las cuales se evaluaron denotando las propiedades críticas del material mediante una investigación, algunas de estas propiedades son: la dureza, la resistencia a la tracción, su resistencia a la corrosión, sus tratamientos térmicos, superficiales y recubrimientos. Con la evaluación de estas muestras y en base a los estándares actuales de la industria, las cualidades más destacables las poseen los rines de aleaciones de magnesio-aluminio ya que presentan mayor resistencia a la deformación, corrosión y una baja densidad de 1.74 g/cm³ que contribuye a la construcción de un automóvil más ligero. Un bajo peso, en general, permite un mejor diseño en los rines y en otros componentes principales del vehículo, logrando así una mejor estabilidad de manejo.

PALABRAS CLAVE: Aluminio, Rines, Dureza, Forjado.



Colaboración

Verónica Elvira Salazar-Muñoz; Diana Leticia Espe-ricueta-Gonzalez; Jose Francisco Ibarra-Sánchez; María Magdalena Montserrat Contreras, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí

Fecha de recepción: 08 de agosto de 2022

Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2022

ABSTRACT: The following article presents the analysis of aluminum wheels. The materials and the properties of the wheels were analyzed, including the aesthetic value, in addition, topics such as the forming process, the cost of the material, manufacturing and application were addressed. The most convenient method for the manufacture of wheels in the case of aluminum is forging, obtaining wheels in one piece. Environmental factors were taken into account, since, in production, the usual pollutants are varied, such as emissions into the atmosphere, solid waste and wastewater. 5 samples were taken as a reference, from different automobiles, which were evaluated denoting the critical properties of the material through an investigation, some of these properties are: hardness, tensile strength, resistance to corrosion, its thermal treatments, surfaces and coatings. With the evaluation of these samples and based on current industry standards, the most outstanding qualities are possessed by the magnesium-aluminum alloy wheels, since they present greater resistance to deformation, corrosion and a low density of 1.74 g/cm³. which contributes to building a lighter car. A low weight, in general, allows a better design in the wheels and other main components of the vehicle, thus achieving better driving stability.

KEYWORDS: Aluminium, Wheels, Hardness, Forged.

INTRODUCCIÓN

Con la fabricación de vehículos innovadores se busca el desarrollo de piezas específicas que cumplan con una función clara y eficiente al funcionamiento general de transporte, es entonces cuando surge una problemática, ¿qué materiales son más adecuados en relación con el costo y rendimiento. En el caso de los rines, los vehículos generalmente cuentan con materiales que van desde el hierro fundido o forjado hasta aleaciones específicas con base en magnesio y aluminio, por lo que existe un am-

plio repertorio que puede ser usado y acondicionado según el diseño y requerimientos del automóvil. Todo este panorama habla de un gran número de posibilidades y oportunidades económicas que dependen de la elección del material y método de producción correcto. Este trabajo busca encontrar un diseño óptimo de rines para el automóvil promedio a través de una investigación cuyas limitantes se encuentran en las diversas fuentes de internet y otros recursos brindados por fabricantes. La información obtenida de las investigaciones se comparó y con ello se analizaron los materiales que conforman los rines a partir de las siguientes variables establecidas: costos, propiedades, acabado estético, y durabilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se buscó información sobre rines de automóviles a disposición en los manuales de propietario de cada uno de los fabricantes. Así como en base a sus propiedades mecánicas del aluminio, pero más enfocado a la de las aleaciones de Aluminio- Magnesio ya que, actualmente, es la más usada para el sector automotriz en la fabricación de los rines [1].

Propiedades Mecánicas del Aluminio

Las características mecánicas del aluminio varían considerablemente dependiendo del tipo de aleación que se esté considerando.

- La resistencia a cizallamiento es un valor importante a tener en cuenta para calcular la fuerza necesaria para el corte. No existen valores normalizados a este respecto, pero generalmente es un valor que está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción.

- Módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young: El módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young (E) relaciona la tensión aplicada a una pieza según una dirección con la deformación originada en esa misma dirección, y siempre considerando un comportamiento elástico en la pieza.

Para las aleaciones de aluminio-magnesio, el módulo de elasticidad longitudinal, E, tiene el siguiente valor:

$$E = 70.000 \text{ MPa (70.000 N/mm}^2\text{)} \quad E_c 1$$

- Módulo de elasticidad transversal: El módulo de elasticidad transversal, módulo de cortante o también llamado módulo de cizalla, G, guarda una relación fija con el módulo de elasticidad longitudinal (E) y el coeficiente de Poisson (ν).

- Coeficiente de Poisson: El coeficiente de Poisson (ν) corresponde a la razón entre la elongación longitudinal y la deformación transversal en el ensayo de tracción. Para el aluminio aleado, el coeficiente es:

$$\nu = 0,33$$

Estos valores son constantes siempre dentro del rango de comportamiento elástico del aluminio.

En base a estas propiedades mecánicas que el aluminio posee normalmente en la industria automotriz se selecciona al magnesio como aleante debido a que mejora las propiedades mecánicas en gran medida, también en base a su proceso de conformado que puede otorgarle otras propiedades. En la Tabla 1 se presentan las Propiedades Mecánicas de Aleaciones de Magnesio como lo son Límite Elástico, Resistencia Máxima a la Tensión, Elongación, Dureza Brinell, Dureza Rockwell. Que presenta esta Aleación Aluminio- Magnesio [2-4]

Tabla 1. Propiedades Mecánicas de Aleación de Magnesio

Aleación de magnesio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
AZ 31B	recocido en hoja	22	152	37	255	21	56HB
	hoja dura	32	221	42	290	15	73HB
AZ 80A	tal y como sale de la forja	33	228	48	331	11	69HB
	forjado y envejecido	36	248	50	345	6	72HB
AZ91A y AZ91B	fundido con dado	22	152	33	228	3	63HB
AZ91C	tal y como sale fundido	14	97	24	165	2.5	60HB
	fundido tratado en solución y envejecido	19	131	40	276	5	70HB
AZ92A	tal y como sale fundido	14	97	25	172	2	65HB
	fundido tratado con solución	14	97	40	276	10	63HB
	fundido tratado con solución y envejecido	22	152	40	276	3	81HB
EZ33A	fundido y envejecido	16	110	23	159	3	50HB
HK31A	endurecido por deformación	29	200	37	255	8	68HB
	fundido con tratamiento térmico	15	103	32	221	8	66HRB
HZ32A	fundido-tratamiento por solución y envejecido	13	90	27	186	4	55HB
ZK60A	tal y como se extruye	38	262	49	338	14	75HB
	extruido y envejecido	44	303	53	365	11	82HB

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

Nota Fuente: Propiedades Mecánicas de Aleaciones magnesio, Recuperado de: Propiedades de los Materiales (ingemecanica.com)

En la Tabla 2, se muestran los rines que se tomaron como referencia en primera instancia para los tipos de materiales, el número de los rines varía desde el de 14 pulgadas hasta el de 18 pulgadas. Las llantas para todos los casos están hechas de caucho sintético.

Tabla 2. Rines seleccionados para análisis

MODELO	MATERIAL DE RIN	MATERIAL DE BANDA DE RODAMIENTO.	FOTO
185/45R15 (Kia Rio 2019)	AJ62A: (91% magnesio, 6% aluminio, .2% zinc)	Caucho sintético.	
245/50R18 (Mazda 3 2020)	AZ91: (90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio)		
215/50R17 (Ford Ka 2004)	AE44: (92% magnesio, 4% aluminio)		
185/60R14-S2H (Chevrolet Tracker 2021)	AZ91: (90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio)		
214/50-R17 (Ford Focus 2018)	AE44: (92% magnesio, 4% aluminio)		

Nota fuente: Elaboración propia

Se evaluaron tres rines de los cinco disponibles, siendo los siguientes: rin de aleación magnesio-aluminio AJ62A con densidad de 1.80 g/cm³ (composición 91% magnesio, 6% aluminio, .2% zinc), rin de aleación magnesio-aluminio AE44 con densidad de 1.82 g/cm³ (Composición 92% magnesio, 4% aluminio), rin de aleación magnesio-aluminio AZ91 con densidad de 1.74 g/cm³ (Composición 90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio).

Entre los casos seleccionados se sabe que tienen como proceso de manufactura el forjado, en este se obtienen lingotes que son calentados a 450°C, Se utilizan dos discos rotativos los cuales aplanan el lingote de aluminio con 4000T de presión, esto confiere el patrón circular compacto con el que se da fuerza al rin. La siguiente parte del proceso se constituye por un extruido para dar forma a el perfil del aro, este es ayudado por un refrigerante para disminuir la fricción [5]. En el acabado algunas veces se recomienda realizar un proceso de maquinado en fresadora para rectificar las imperfecciones y mejorar su estética. A continuación, en la Figura 1, se muestra el diagrama de flujo del proceso de forja y extruido de un rin de aluminio.



Figura 2. Aplicación de pintura metálica a un rin de aluminio forjado.



Figura 3. Rines de aluminio forjado con una capa de pintura metálica.

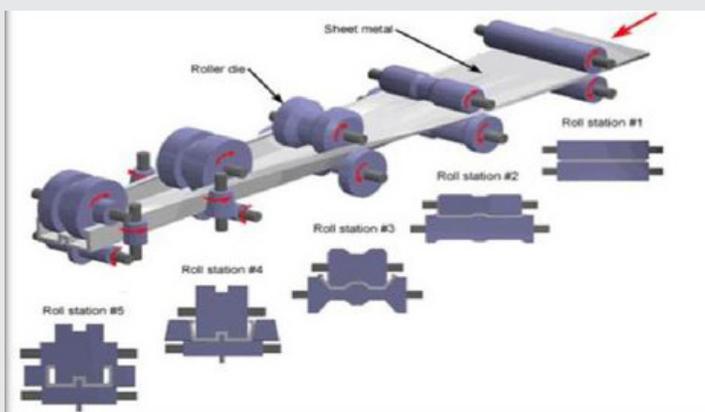


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de forja y extruido para el rin de aluminio.

Se requiere que los rines presenten una buena resistencia al impacto, a la flexión y a la torsión ya que están expuestos a esfuerzos cíclicos. Los rines propuestos siempre están expuestos a la corrosión debido a una variedad de factores ambientales, si bien no es necesario la protección a la corrosión por el tipo de aleaciones que se manejan, muchas veces, se utiliza un baño de pintura como protección adicional [6-7]

En la Figura 2, se muestra la aplicación de pintura metálica a un rin de aluminio forjado, en la Figura 3 se muestra el acabo final de la superficie del rin después del proceso de la aplicación de la pintura metálica.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los costos de los moldes, así como los costos de sus componentes, dentro de los cuales se incluyen los precios de las materias primas.

Tabla 3. Costos de moldes, y componentes para la manufactura.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO/PIEZA (MXN)	TOTAL (MXN)
Superior diámetro 19.5 x 3.5	1	11520	11520
Inferior diámetro 19.5 x 3	1	13440	13440
Laterales 16 x 6 x5.5	4	8760	35040
Placa botadora diámetro 19.5 x 1	3	840	2520
Placa porta cerámico diámetro 8 x 2	1	500	500
Nariz diámetro 3 x 3	1	500	500
Tuerca botadora diámetro 3 x 3	1	400	400
Postes diámetro 1.750 x 16	4	100	400
Botadores 5/16 x 14	12	82	984
Botadores 1/2 x 14	4	160	640
Opresor 3/4	4	24	96
Tornillo 3/4 cabeza plana	4	39	156
Conexiones tubing 3/8	4	80	320
Tornillos 1/2 x 1 3/4	24	10	240

Nota fuente: Fabricacion

El costo total de las herramientas necesarias para la fabricación de los rines asciende a los \$ 65,944.000 pesos mexicanos, esto sin contar el tiempo de vida de cada herramental y su reposición, así como el costo de materia prima para el uso continuo. A continuación, en la Figura 4 se presentan algunos componentes para la manufactura de rines mencionados en la Tabla 3

En el ámbito comercial los costos pueden variar enormemente según el material del cual se compone el rin, diseño, marca y en especial las pulgadas de la llanta. En la Tabla 4 se muestra una comparación de precios únicamente variando las marcas mientras se mantienen las medidas de los rines con el propósito de mostrar la gama de costos que se puede alcanzar para el público en general. El precio más elevado, corresponde a la

marca Luxotik con 7051.22 pesos y el más barato PRW con 1640 pesos, en ambos casos, por pieza.



Figura 4. Componentes para la manufactura de rines.

Tabla 4. Precio de distintas marcas de Rin de medida 15 pulgadas.

MARCA	RIN	PRECIO (MXN/ pza)
Luxotik	3351-RIN-15, 4x100	7,051.22
Vorwart	XH595-RIN-15, 10X100/114.3	6,314.91
Darwin	XH455-RIN-15, 4X100	7,409.50
PRW	RIN-15x7, 5-100	1,640.00
XP Wheels	RIN-15x8, 6-114.3	3,027.00

Nota fuente: Fabricación de molde para Rin de aluminio 38,1 cm, por fundición a baja presión, 2008

En base a los datos expuesto respecto a las medidas y aleaciones formas de conformado de rines en la industria automotriz a nivel mundial es que podemos englobar de manera general las variables que se toman en cuenta para la selección del material teniendo en cuenta variables tales como, Funcionalidad, Propiedades, Seguridad, Durabilidad o Costos, por lo que anexamos la siguiente Tabla 5 en donde encontraremos algunos de los puntos más importantes para cada uno de los materiales.

CONCLUSIONES

En el marco teórico se hizo un análisis detallado de la composición química de los rines donde la aleación que más favorece la densidad del rin es la de Mg-Al con 1.74 g/cm³ puesto que la industria automotriz busca fabricar automóviles más ligeros para mejorar el rendimiento del automóvil en general. El proceso de manufactura recomendado para la elaboración de rines de aluminio es el de forja, este permite mejorar la estructura de este, ya que refinan su tamaño de grano mejorando sus propiedades mecánicas, este proceso ocupa un tratamiento térmico de normalizado posterior a la forja para eliminar los esfuerzos residuales en el rin.

Tabla 5. Matriz General de Decisión del Material

VARIABLES	MATERIAL 1 ALUMINIO	MATERIAL 2 FIBRA DE CARBONO	MATERIAL 3 ACERO
Seguridad	Seguro No contamina en gran medida	Seguro Contaminante	Seguro Contaminación media
Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia más estética. • Material más manipulable. • Construidos bajo estándares precisos. • Muy ligeros. • Alta fortaleza. • Inoxidables. • Se deforma con facilidad. • Por sus propiedades no se recomienda en caminos de tierra o 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso menor. • Más resistencia en comparación con los de aluminio. • Amortigua la vibración. • Mejora el desempeño. • Automóvil más predecible. • Usan una resina especial y un sistema de revestimiento térmico que permite que alcance los niveles 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia • Son los más pesados. • Acero maleable. • Facilidad de reparación. • Brinda un aspecto rudimentario. • Conserva su forma después de ser sometido a un esfuerzo. • Puede ser laminado. • Es altamente tenaz.
Funcionalidad	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte; como material estructural en aviones, automóviles, trenes de alta velocidad, metros, tanques, superestructuras de buques y bicicletas. • Embalaje de alimentos; papel de aluminio, latas, tetrabriks, etc. • Bienes de uso doméstico; utensilios de cocina, herramientas, etc. • Calderería. 	<ul style="list-style-type: none"> Suelen encontrarse en diseños de una sola pieza: <ul style="list-style-type: none"> • Automovilismo: silenciadores y tubos de escape, protectores para depósitos, puertas, parachoques. • Electrónica y robótica: ordenadores, tripodes para fotografía, drones y teledirigidos... • Construcciones: refuerzos estructurales para edificios... • Medicina: prótesis y muletas... 	<ul style="list-style-type: none"> • Es utilizado como material de construcción. • Materia prima de diversas herramientas mecánicas. • Para realizar aleaciones de acero.
Durabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento especial en invierno y áreas de sal y arena. • Vida útil de 80 años. • Independientemente de las condiciones que deba soportar el aluminio apenas notara efecto de la corrosión. • El aluminio es 100% reciclable. • Su tasa de recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> • En exteriores su durabilidad es de aproximadamente 5 años. • En interiores o resguardada en algún lugar puede durar hasta 12 años. Esto puede variar dependiendo de algunos factores. Algunos son: <ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento físico de la matriz polimérica. • Humedad. • Ciclos de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> El acero es esencialmente hierro mezclado con otros elementos como: <ul style="list-style-type: none"> • Carbono. Reduce la ductilidad y soldabilidad del hierro mientras añade dureza a la mezcla.
Costo	<ul style="list-style-type: none"> • El precio por tonelada es de aproximadamente \$1901.47 dólares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor monetario mayor en comparación a los de aluminio y acero. • Reparación más costosa. • Aproximadamente cuesta 100euros por kilogramo. 	<ul style="list-style-type: none"> Su peso en kilogramos: Entre \$1 y \$2 USD/kg, y se vende a partir de 1000kg.

Nota fuente: Fabricación de molde para Rin de aluminio 38,1 cm, por fundición a baja presión, 2008

Se ha demostrado que el Al es un material capaz de resistir la oxidación y con ello evitar la corrosión del rin, esta propiedad química del Al puede mejorar notablemente con el proceso de pasivación que es básicamente cuando una superficie de este metal entra en contacto con el aire ambiental, la parte más externa del objeto se oxida espontáneamente para formar una capa transparente e impermeable de alúmina Al₂O₃ tipo cerámica, muy congruente y adherente. Aunque los aceros inoxidable resisten mejor la oxidación y con ello corrosión. En cuanto al costo, normalmente el aluminio es mucho más accesible económicamente que el acero inoxidable. Como ultima reflexión el rin que se recomienda es el de Al AZ91, por su baja densidad, su resistencia a la corrosión, su fácil proceso de manufactura y costo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Hernández, L. (2018, 14 de agosto). Ventajas y desventajas de los rines de aluminio, acero y fibra-

de carbono, AutoCosmos. Consultado el 29 de octubre de 2021. <https://noticias.autocosmos.com.mx/2018/08/14/ventajas-y-desventajas-de-los-rines-de-aluminio-ace-ro-y-fibra-de-carbono>.

[2] Mecánica Automotriz, (2021, 10 de septiembre). Cursos de rines, características, medidas y tipos, Mecánica automotriz.org. Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://www.mecanicoautomotriz.org/857-curso-mecanica-automotriz-rines-descripcion-general>.

[3] Manufactura, (2013, 13 noviembre). Llega CMW al parque industrial Colinas de San Luis, Industrias. Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://manufactura.mx/industria/2013/11/13/llega-cmw-al-parque-industrial-colinas-de-san-luis>.

[4] Autopartes, (2016, 21 de junio) Inauguran en SLP planta de rines. Portal automotriz.com Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://www.portalautomotriz.com/noticias/after-market/inauguran-en-slp-planta-de-rines>.

[5] TIRERACK. (10/11/2021). CONSTRUCCIÓN DEL RIN, ARO O LLANTA. TIRERACK Recuperado de <https://m.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=90&ln=sp>.

[6] Israel Barajas, Eduardo Gonzales, Jesús Hernán, Edgar Villegas. (2013). Prototipo de un rin de materiales compuestos y aluminio. México: IPN.

[7] Contreras Ramón, Tapia Horacio, Vargas Hugo, Villegas Gerardo. (2008). Fabricación de molde para Rin de aluminio 38.1cm, por fundición a baja presión. México: IPN.