

Materiales de aleación aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos Parte II

Aluminum-silicon alloy materials applied in the manufacture of parts of reciprocating internal combustion engines Part II

Barona López Gustavo.¹ Luis Efraín Velasteguí.²

Recibido:15-01-2020 / Revisado: 02-02-2020 / Aceptado: 12-03-2020/ Publicado: 04-04-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1203>

This paper presents a systematic knowledge of the chemical composition, type of molding and treatment, mechanical and thermal properties, of aluminium-silicon (Al-Si) alloys applied in the manufacture of structural parts of reciprocating internal combustion engines (RICE), with the aim of providing support for the development of researches when compare, analyze or select the presented alloys. For which, a first paper was presented that revealed that structural parts of these types of engines are manufactured with Al-Si alloys. This second part establishes the importance that Al-Si alloys will have in reducing emissions of polluting gases, problematic that the world has. In response, the article presents the benefits and properties of Al-Si alloys of the series ANSI AA 3xx.0 and 4xx.0, being its low density which allows a lower fuel consumption compared to high density materials, for which are applied in structural parts of the RICE type Otto. A brief description of the manufacture of Al-Si alloy parts for RICE is also made. Finally, its present the structuring of a table that shows the ANSI AA 3xx.0 and 4xx.0 alloys applied in the manufacture of structural parts of RICE Otto, concluding that the technical information of the industrial applications of the alloys, have been developed and structured in a systematized way, to provide detailed and comparative knowledge between the properties.

Keywords: Aluminium-silicon alloys, ANSI 3xx.0 and 4xx.0 alloys, Al-Si alloys RICE Otto, ANSI aluminium-silicon alloy comparison, aluminium-silicon table.

Resumen

En este artículo se presenta un conocimiento sistematizado de la composición química, tipo de moldeo y tratamiento, propiedades mecánicas y térmicas, de las aleaciones aluminio-silicio (Al-Si) aplicadas en la fabricación de partes estructurales de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), con el objetivo de proporcionar un

¹ Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador, barona_gustavo@hotmail.com

² Editorial Ciencia Digital, Ambato, Ecuador, luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

fundamento para el desarrollo de investigaciones al comparar, analizar o seleccionar las aleaciones presentadas. Para lo cual, se presentó un primer artículo que dio a conocer que partes estructurales de estos tipos de motores son fabricados con aleaciones de Al-Si. En esta segunda parte se establece la importancia que tendrán las aleaciones Al-Si para reducir las emisiones de gases contaminantes, problemática que enfrenta el mundo. Ante esta situación el artículo presenta los beneficios y propiedades de las aleaciones Al-Si de las series ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0, siendo su baja densidad la que permite un menor consumo de combustible en comparación con materiales de alta densidad, por lo que son aplicadas en partes estructurales de los MCIA Otto. También se realiza una breve descripción de la fabricación de partes de aleación de Al-Si para MCIA. Por último, se presenta la estructuración de una tabla que muestra las aleaciones ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0 aplicadas en la fabricación de partes estructurales de MCIA Otto, concluyendo que la información técnica de las aplicaciones industriales de las aleaciones, han sido elaboradas y estructuradas de forma sistematizada, para proporcionar un conocimiento detallado y comparativo entre las propiedades.

Palabras clave: Aleaciones aluminio-silicio, aleaciones ANSI 3xx.0 y 4xx.0, Al-Si MCIA Otto, comparación aleaciones aluminio-silicio, tabla aluminio-silicio.

Introducción.

El estándar ANSI en conjunto con la Aluminum Association (AA) ha dividido al aluminio y sus aleaciones en dos categorías las trabajadas y las coladas (ASM, 1990) (Kaufman, 2004). Las aleaciones de aluminio-silicio (Al-Si) designadas con las series numéricas ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0 pertenecen al grupo de aleaciones coladas.

Este tipo de aleaciones están presentes en productos acabados como blocks de cilindros, cabezotes, pistones, camisas de cilindros, bastidores de camiones, soportes de suspensión, carcasas de cajas de cambios, carcasas de compresores, cubos para ruedas de motocicletas, horquillas oscilantes traseras para motocicletas, carcasas de bombas, cárteres de aceite, aspas de ventiladores, entre otros (ASM, 1990) (Rheinfelden alloys, 2016).

Por las propiedades que presentan las aleaciones Al-Si estas son utilizadas para la fabricación de partes que integran a los motores de combustión interna alternativos (MCIA) Otto, los mismos que son montados en vehículos de bajo y mediano cilindraje.

La problemática actual de los MCIA tipo Otto es la emisión de gases contaminantes a partir del consumo de combustible. La Tabla 1 muestra un promedio de consumo de gasolina que se ha calculado entre algunos vehículos tipo automóviles, a partir del año 2004 hasta el 2019, siendo este consumo de 15,3 km por litro de gasolina.

Esto ha originado que los países donde se producen automóviles de bajo a mediano cilindraje emitan políticas de estado, a mediados del año 2009, para la eficiencia del consumo de combustible, que permitirá en un futuro reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, al establecer un estándar promedio de rendimiento de 23,17 km por litro de gasolina a partir del año 2025.

Tabla 1. Consumo medio de gasolina en vehículos tipo automóviles.

Marca de automóvil	Año de producción	Tipo de automóvil	Cilindrada cm ³	Potencia máx. CV	Torque máx. Nm	Consumo medio Km por litro de gasolina km/L
BMW 116i	2004-2007	Hatchback	1596	115	150	13,3
Hyundai Accent	2006-2008	Hatchback	1599	112	146	15,6
Chevrolet Aveo	2011-2013	Hatchback	1598	115	155	16,6
Chevrolet Cruze FL	2012-2013	Hatchback	1598	124	155	15,1
Ford Fiesta ST	2015-2017	Hatchback	1596	182	240	16,9
Kia Sportage CDI	2018-2019	Hatchback	1591	132	161	16,6
Mercedes GLA	2018-2019	Hatchback	1595	122	200	16,6
Hyundai Tucson TL	2018-2019	Hatchback	1591	132	161	14,2
Chevrolet Camaro	2018-2019	Coupe	1998	275	400	12,5
						Promedio 15,3

Fuente: Elaboración propia basada en (motoreu, 2020).

Las políticas de estado tienen como estrategia, a través de las casas de manufactura, crear mecanismos que impulsen el desarrollo de investigaciones para reducir el consumo de combustible en automóviles. Una de estas estrategias es aumentar el rendimiento energético de los MCIAs Otto, para lo cual, se pretende mejorar las aleaciones de Al-Si utilizadas en la fabricación de partes estructurales del motor, como el block de cilindros, camisas de cilindros, cabezotes y pistones. La baja densidad de las aleaciones de Al-Si así como los beneficios que presentan sus propiedades permiten al motor Otto un menor consumo de gasolina en comparación a materiales de alta densidad, logrando que un automóvil tenga un mayor recorrido a costa de un mínimo consumo de combustible.

Debido a las ventajas que presentan las aleaciones de Al-Si las investigaciones se enfocan a su mejoramiento, por tal motivo, es importante conocer las series que existen en la industria automotriz, además de, sus propiedades, ya que se pueden mejorar las aleaciones u obtener nuevos materiales a partir de su combinación con otros.

El futuro del MCIAs Otto está ligado a los procesos productivos de extracción de petróleo y su posterior refinación para obtener gasolina, que es el combustible que genera la energía para el movimiento en el automóvil, por tal motivo va seguir siendo utilizado por al menos los próximos 20 años, hasta el desarrollo de otro tipo de tecnología que reduzca el extractivismo de recursos naturales y la contaminación de la tierra.

Reducir el problema de contaminación ambiental que generan los MCIAs Otto y Diésel, mediante otros tipos de tecnologías, involucra tener en cuenta si se va a seguir consumiendo los recursos naturales de la tierra, siendo así, se tienen que responder preguntas como: ¿De dónde se va a producir la energía? ¿Qué otros metales se van extraer de la tierra? ¿Cómo materia prima el petróleo se seguirá utilizado para fabricar sistemas de almacenamiento de energía? ¿De dónde se va a generar energía para cargar los vehículos eléctricos, será acaso de plantas de generación eléctrica que utilizan motores Diésel? ¿Qué peligroso trae consigo emplear energía nuclear para el desarrollo de nuevos motores?, entre otras.

En el presente artículo, a través de investigaciones especializadas en aleaciones de Al-Si, se ha estructurado de forma sistematizada una tabla donde se podrá comparar las diferentes aleaciones de las series numéricas ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0, además de mostrar sus aplicaciones industriales.

Aleaciones de Aluminio-Silicio.

En el mundo industrial del aluminio para la identificación de las aleaciones de aluminio-silicio se ha creado una serie numérica que va en función del porcentaje de silicio. El porcentaje de este elemento influye en los beneficios de las aleaciones y, también, en sus propiedades microestructurales, así como en las propiedades tecnológicas.

Identificación de las aleaciones de aluminio-silicio

La norma de mayor aceptación para la identificación del aluminio y sus aleaciones es la norma ANSI H35.1 standards. Esta norma junto a la Aluminum Association (AA) identifica a las aleaciones de aluminio-silicio mediante una serie de cuatro dígitos y en algunas ocasiones una letra inicial. Estas series son las de tipo ANSI AA 3xx.x, 4xx.x y 4xxx. Sin embargo, existen otras normas como la UNS, ASTM, SAE, ISO, Euronorm y de industrias independientes, pero son menos utilizadas (ASM, 1990) (Kaufman, 2004).

Las series 3xx.0 y 4xx.0 pertenecen a la categoría de aleaciones Al-Si coladas. Estas series son designadas especialmente para las partes y elementos estructurales que conforman a los MCIA Otto. Sin embargo, también están presentes en otras aplicaciones industriales. (ASM, 1990) (Kaufman, 2004). La cifra digital cero (0), ubicada a la derecha del punto, significa que son aleaciones coladas. Estas series o aleaciones coladas son productos acabados que son fabricados en industrias dedicadas a la refundición de lingotes que provienen de un proceso de colada continua o semicontinua (productos semielaborados) (ASM, 1990).

Beneficios de las aleaciones aluminio-silicio coladas

Las aleaciones de aluminio-silicio (Al-Si) pertenecientes a las series 3xx.0 y 4xx.0 son extensamente utilizadas en partes y elementos que integran motores de combustión interna alternativos (MCIA) tipo Otto, debido a que son aleaciones de baja densidad y por las propiedades que confiere el elemento aleante de silicio. La adición de Si da como resultado en la aleación un incremento en la resistencia mecánica, la dureza y desgaste, con una disminución de la conductividad eléctrica y el coeficiente de expansión térmico, con respecto al material base de aluminio. Estos incrementos y disminuciones de propiedades son favorables en la aleación fabricada, propiedades que el aluminio como metal no las posee.

El efecto de adicionar silicio en un metal como el aluminio ocasiona una mejora en sus propiedades, ya que se obtienen aleaciones de Al-Si que son utilizadas para la manufactura de partes estructurales como pistones, cabezotes, blocks de cilindros y camisas de cilindros, para MCIA. Estas partes son expuestas a la ignición del combustible

lo que genera fenómenos físicos y químicos (mencionados en el artículo I) que las aleaciones deben soportar. Estos fenómenos producen: elevadas exigencias mecánicas, desgaste, temperaturas alrededor de 3000 °C y presiones alrededor de los 50 bares, que en parte son controladas por sistemas de refrigeración y lubricación.

Partes y elementos estructurales, como cabezotes, blocks de cilindros, camisas de cilindros, pistones, múltiples de admisión y escape, son fabricados con materiales de baja densidad de Al-Si, lo que es un beneficio en ahorro y eficiencia energética de combustible, si son comparados con materiales manufacturados de alta densidad como las aleaciones Fe-C.

Propiedades tecnológicas de las aleaciones Al-Si coladas

Las aleaciones coladas de Al-Si de las series 3xx.x y 4xx.x, debido a sus excelentes propiedades tecnológicas, son utilizadas en procesos de manufactura donde se requiere obtener fluidez y evitar agrietamiento en caliente, durante el proceso de vaciado y solidificación de la aleación líquida. Sin embargo, propiedades como acabado superficial y soldabilidad en ciertas aleaciones de Al-Si + Mg, no son satisfactorias. En la Tabla 2 se muestra que las aleaciones Al-Si son las que en general poseen las mejores propiedades tecnológicas en comparación con otras aleaciones de base Al.

Tabla 2. Efecto del Silicio en las propiedades tecnológicas de sus aleaciones (Kaufman, 2000).

Serie	Propiedades tecnológicas					
	Fluidez para ser colados	Agrietamiento en caliente	Hermeticidad	Corrosión	Acabado	Soldabilidad
1xx.x(Al)				1	1	1
2xx.x(Al-Cu)	3	4	3	4	1-3	2-4
3xx.x(Al-Si+Cu y/o Mg)	1-2	1-2	1-2	2-3	3-4	1-3
4xx.x(Al-Si)	1	1	1	2-3	4-5	1
5xx.x(Al-Mg)	5	4	4-5	3	1-2	3
7xx.x(Al-Zn)	3	4	4	4	1-2	4
8xx.x(Al-Sn)	4	5	5	5	3	5

1=calificación más alta, 5=calificación más baja. Estas calificaciones son generalizaciones y algunas aleaciones individuales pueden exhibir algún comportamiento diferente.

Fabricación de Partes de Aleación Al-Si Para Mcia

Para fabricar las partes que integran un MCI A Otto se tiene que pasar por varios procesos de producción. El primero, es someter al mineral de bauxita al proceso Bayer para obtener alúmina la misma que es sometida al proceso Hall-Héroult para producir aluminio puro en estado líquido que es adicionado el elemento químico silicio para formar las aleaciones de Al-Si. Posteriormente la aleación líquida se somete a un proceso de colada continua o semicontinua para producir lingotes sólidos que son distribuidos a industrias de manufactura donde son refundidos y mediante un adecuado método de fundición se obtienen productos acabados como blocks de cilindros, camisas de cilindros, cabezotes, pistones, carcazas, cárteres, entre otros, los cuales forman parte del motor Otto.

Procesos para la fabricación de productos acabados de Al-Si

Los diversos procesos productivos a las que son sometidas las materias primas para la fabricación de productos acabados, que conforman las partes y elementos de los motores de combustión interna alternativos, son los siguientes:

1. Proceso metalúrgico: en donde a partir del mineral de bauxita es obtenido aluminio primario, mientras que de la chatarra se genera aluminio secundario, los cuales estando en estado líquido se adiciona elementos metálicos como Cu, Si, Mg, Zn, Sn y otros, para obtener las respectivas aleaciones líquidas.
2. Proceso de colado: la aleación líquida de Al-Si es colada mediante procesos continuos o semicontinuos, lo cual produce lingotes sólidos que son asignados las series numéricas 3xx.1, 3xx.2, 4xx.1 o 4xx.2, para posteriormente ser refundidos.
3. Procesos de manufactura (fabricación de productos): los lingotes sólidos son sometidos a métodos de fundición y colado en moldes desechables o permanentes, con el objetivo de obtener productos acabados como blocks de cilindros, camisas de cilindros, pistones, cabezotes, u otros productos como bastidores de camiones, soportes de suspensión, carcasas de compresores, horquillas oscilantes traseras para motocicletas, carcasas de bombas, cárteres de aceite, entre otras, las cuales pertenecen a la categoría de aleaciones coladas de las series 3xx.0 o 4xx.0.

Métodos de fundición para aleaciones de Al-Si

La mayor parte de elementos que conforman el MCIA son fabricados mediante diversos métodos de fundición, los cuales son clasificados según el tipo de molde utilizado al momento de realizar la colada fundida. Esta clasificación es fundición en molde desechable y fundición en molde permanente (ASM, 1998).

Los moldes desechables se elaboran con arena de moldeo aglutinada o aglomerada, y su colada se la realiza por técnicas como fuerza de gravedad o a baja presión (de Bengy et al, 2012) (European Aluminium Association. 2011) (European Aluminium Association, 2002).

Los moldes permanentes se elaboran a partir de matrices metálicas o de grafito, y su colada se puede realizar por dos métodos. El primero es el die casting, que se subdivide de acuerdo a la presión que ejerce la fundición sobre la cavidad del molde, siendo a baja o alta presión y por fuerza de gravedad, cuando se la realiza por fuerza de gravedad es llamada simplemente moldeo permanente. El segundo son procesos híbridos como squeeze casting, rheocasting (forja semisólida) y osprey process (atomizado de polvo metálico) (ASM, 1998).

La Tabla 3 muestra un resumen de los métodos de fundición para aleaciones Al-Si, tanto para moldes desechables como permanentes. Estos métodos de fundición no son exclusivamente para aleaciones de Al-Si, también son utilizados para otros tipos de

aleaciones, en los que se fabrican toda clase de partes y elementos mecánicos para un sin número de aplicaciones.

Tabla 3. Métodos de fundición para moldes desechables y permanentes.

Técnica de colado	Tipo de molde		
	Molde desechable de arena con o sin núcleos de arena	Molde permanente de coquilla con núcleos de arena	Molde permanente de coquilla
Fuerza de gravedad	X Moldeo desechable	X Moldeo permanente	X Moldeo permanente
Baja presión	X Moldeo desechable	X Die casting baja presión	X Die casting
Alta presión		X Die casting alta presión	X Die casting
Comprimida			X Squeeze Casting

Coquilla: es un molde permanente que generalmente es fabricado en acero, también puede ser de grafito sólido.

Fuente: Elaboración propia basada en (ASM, 1998) (European Aluminium Association, 2011) (European Aluminium Association, 2002) (Schilling y Schnaibel, 2009).

Aleaciones de AL-SI aplicadas en la fabricación de partes estructurales de MCIA OTTO

Las partes estructurales que integran un MCIA tipo Otto son fabricadas a partir de aleaciones de aluminio-silicio a las cuales se les asigna las series numéricas ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0 para la identificación de su composición material.

Como se ha mencionado en el artículo I el block de cilindros es el elemento estructural de mayor importancia y peso del motor, en el montan partes fijas y móviles. Entre algunas partes fijas se tiene la culata y cárter. Mientras que el cigüeñal es la parte móvil más importante, teniendo en cuenta que el pistón es una parte móvil que interactúa con el cilindro del block mediante el mecanismo de conexión biela-cigüeñal. En el artículo I y II el pistón se ha considerado como una parte estructural, debido a que es fabricada a partir de una aleación Al-Si como las demás partes estructurales del MCIA Otto, de esta forma se toma como un solo conjunto estructural block-cilindro-pistón-cabezote.

Las aleaciones de Al-Si de las series 3xx.0 y 4xx.0 son creadas para resistir las solicitaciones mecánicas generadas por la ignición del combustible (gasolina, GLP, etanol, alcoholes ligeros, gas natural, metano o gas de síntesis), por tal motivo, los motores que han sido ensamblados con partes estructurales fabricadas a partir de estas aleaciones poseen un bajo y mediano cilindraje, donde el elevado torque y potencia no son sus características.

Las aleaciones 3xx.0 y 4xx.0 son aplicadas en la fabricación de blocks de cilindros, camisas de cilindros, cabezote, pistones y carburadores, estas partes son ensambladas para conformar la estructura principal del motor Otto, el cual es montado en automóviles de turismo, camionetas, automóviles de competición, montacargas, motocicletas, motonetas, embarcaciones marinas de bajo cilindraje, fumigadoras, motosierras, máquinas manuales de bajo cilindraje y todo vehículo de bajo y mediano cilindraje.

En la Tabla 4 se muestran las aplicaciones de las aleaciones Al-Si de las series 3xx.0 y 4xx.0, las mismas que son utilizadas en partes estructurales que conforman los MCIA tipo Otto. A las partes se les asigna una serie numérica ANSI AA o ISO. La serie ISO es asignada ya que en algunos casos la aleación no tiene la serie ANSI. A partir de la serie numérica se establece su composición química, tipo de moldeo y tratamiento, propiedades mecánicas y térmicas, que son características de cada aleación. Esta serie también puede ser determinada mediante el código de manufactura inscrito en la parte fabricada.

Tabla 4. Aleaciones Al-Si de las series ANSI AA 3xx.0 y 4xx.0 aplicadas en la fabricación de partes estructurales de MCIA Otto.

Serie ANSI AA (ISO)	Composición en %, con Al al balance	Tipo de moldeo/ tipo de tratamiento	σ_y MPa	σ_u MPa	HB	E GPa	% ε	κ W/m°C 25°C	$\lambda \cdot 10^{-6}$ °C ⁻¹ 20- 100°C	Aplicaciones de las aleaciones 3xx.0 y 4xx.0
319.0	5,5-6,5Si/ 3-4Cu/0,1Mg	Arena de moldeo/T6 Molde Permanente/T6	165 185	250 280	80 95	74	2 3	109	21,5	Blocks, cabezotes y cárteres, para motores de combustión interna.
332.0	8,5-10,5Si/2-4 Cu/0,5-1,5Mg	Molde permanente/T5	193	248	105	---	1	104	20,7	Pistones para motores de automóviles, autos deportivos y camiones ligeros. Camisas de cilindros para blocks.
336.0	11-13Si/0,5-1,5 Cu/0,7-1,3Mg	Arena de moldeo/T551 Molde permanente/T65	193 296	248 324	105 125	73	0,5 0,5	117	19	Pistones para todo tipo de motor de automóviles de turismo.
355.0	4,5-5,5Si/1-1,5 Cu/0,4-0,6Mg	Arena de moldeo/T6 Molde Permanente/T6	170 185	240 290	80 90	70,3	3 4	152	22,4	Bombas de combustible, cabezotes con refrigeración líquida, cárteres de motores de aviones.
356.0	6,5-7,5Si/0,25 Cu/0,2-0,45Mg	Arena de moldeo/T6 Molde permanente/T6	165 185	228 262	70 80	72,4	3,5 5	151	21,5	Blocks de cilindros, cabezotes, pistones, para motores de automóviles de turismo.
A356.0	6,5-7,5Si/0,2 Cu/0,25-0,45Mg	Arena de moldeo/F Arena de moldeo/T6 Molde Permanente/T61	83 207 207	159 278 283	---	75 72,4	6 6 10	151	21,5	Blocks y cabezotes para motores de autos de competición. Cárteres de aceite. Blocks para motores de motocicletas y fuera de borda.
357.0	6,5-7,5Si/0,05 Cu/0,45-0,6Mg	Arena de moldeo/T6 Molde permanente/T6	296 295	345 360	90 100	71,7	2 5	152	21,6	Blocks de cilindros para motores de autos.
359.0	8,5-9,5Si/0,2 Cu /0,5-0,7Mg	Molde permanente/T61	255	325	90	72,4	7	138	20,9	Piezas de gran resistencia para la industria aeroespacial.
360.0	9-10Si/0,6Cu/ 0,4-0,6Mg	Die casting/F	170	325	75	71	3	113	21	Piezas de motor fuera de borda. Piezas para motores de aviación.
A380.0	7,5-9,5Si/3-4Cu /1,3Fe	Die casting/F	160	324	---	---	4	109	21,1	Blocks de cilindros para motores de vehículos.
383.0	9,5-11,5/2-3Cu/ 1,3Fe	Die casting/F	150	310	75	---	3,5	96,2	21,1	Pequeños a medianos blocks de cilindros de motores.
384.0	10,5-12Si/3-4,5 Cu/0,1Mg	Die casting/F	172	325	85	---	1	96	20,3	Pistones para vehículos.
390.0	16-18Si/4-5Cu/ 0,45-0,65Mg	Die casting/T5	260	295	125	81,2	1	134	18	Blocks y cabezotes para motores de

A390.0	16-18Si/4-5Cu/ 0,45-0,65Mg	Arena de moldeo/F, T5 Die casting/F	179 240	179 283	100 ---	81,2	1	134	18	autos. Blocks de cilindros V8 y W12 para motores de autos deportivos y de competición. Camisas de cilindros. Bombas de resistencia abrasiva.
Sin referencia (AlSi10MgCu)	9-11Si/0,6-1Cu/ 0,2-0,5Mg	Molde permanente	210	250	110	78	1	155	22	Blocks de cilindros y cabezotes para motores, camisas de cilindros para blocks.
Sin referencia (AlSi12MgCuNi)	11-13Si/0,8- 1,5Cu /0,8- 1,3Mg	Molde permanente	210	230	125	80	1	155	19,6	
413.0	11-13Si/1Cu/ 0,1Mg	Die casting/F	145	296	80	---	2.5	121	20,4	Pistones y bielas de motores fuera de borda.
443.0	4,5-6Si/0,6Cu/ 0,05Mg	Arena de moldeo/F Die casting/F	55 110	130 228	40 65	71	8 9	146	22,1	Cuerpos de carburador.
σ_y = Esfuerzo de fluencia al 0.2% offset			σ_u = Resistencia última			k = Conductividad térmica			λ = Coef. de expansión térmica	
HB = Dureza Brinell realizada con una bola de Ø10 mm y carga de 500 kgf						E = Módulo de elasticidad o módulo de Young				
ϵ = % de elongación con una longitud de calibración de la probeta de 50mm										

Fuente: Elaboración propia basada en (ASM, 1990) (Kaufman, 2004) (European Aluminium Association, 2011) (European Aluminium Association, 2002) (MAHLE GmbH, 2016).

Conclusiones.

- La información técnica de las aplicaciones industriales de las aleaciones de aluminio-silicio ha sido elaboradas y estructuradas de forma sistematizada, para proporcionar un conocimiento detallado y comparativo entre las propiedades de las diferentes aleaciones 3xx.0 y 4xx.0.
- Las aleaciones Al-Si de las series 3xx.0 y 4xx.0 debido a las características de sus propiedades son aplicadas en la fabricación de partes estructurales de MCIA tipo Otto.
- Las aleaciones 3xx.0 y 4xx.0 a pesar de ser materiales ligeros alcanzan valores elevados de resistencia última y dureza cercanos a los 300 MPa y 130 HB respectivamente, valores que son obtenidos, ya que, las aleaciones son sometidas a tratamientos térmicos que mejoran sus propiedades microestructurales.
- Las aplicaciones mostradas en la Tabla 4 son fabricadas para resistir los fenómenos físicos y químicos generados la ignición de combustibles como gasolina, GLP, etanol, alcoholes ligeros, gas natural, metano o gas de síntesis.
- Los valores de las propiedades de las partes como el block de cilindros, camisas de cilindros, pistones y cabezotes, son intrínsecos de las aleaciones 3xx.0 y 4xx.0, por tal motivo, son aplicados en motores Otto que poseen bajos y medianos cilindrajes, en donde el elevado torque y potencia no son características de este tipo de motor, salvo ciertas excepciones como la actual producción de camionetas, en donde su motor Otto viene integrado con turbocargador y sofisticada inyección electrónica.
- Las aleaciones de Al-Si 3xx.0 y 4xx.0 por las características que tienen sus propiedades, especialmente su baja densidad, tienen un gran potencial para la creación de nuevos materiales entre ellos materiales compuestos, los cuales

puedan seguir reduciendo el consumo de combustibles y la emisión de gases contaminantes.

- Las partes estructurales de los MCI tipo Otto seguirán siendo fabricadas por las diversas industrias de manufactura del mundo, ya que, en la actualidad, su competidor, el motor eléctrico, trae consigo un daño ambiental debido al extractivismo de recursos naturales.
- Los MCI van a seguir teniendo una relevancia en el desarrollo tecnológico del mundo, ya que su contaminación obliga a la investigación y desarrollo de otras tecnologías como el motor eléctrico, motor a partir de energía nuclear, desarrollo de nuevos combustibles, desarrollo de nuevos materiales, entre otros, que ayuden al manejo sostenible de la tierra.

Referencias Bibliográficas.

motoreu. (2020). *Marcas* (Página principal). Recuperado de <https://motoreu.com/es>

ASM HANDBOOK. (1990). VOLUME 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. USA: ASM International.

ASM HANDBOOK. (1998). VOLUME 15 Casting. USA: ASM International.

de Bengy, E., Tremps, E., Fernández, D., & Enríquez, J. (2012). *Fabricación de camisas para motores diésel*. FUNDI Press.

European Aluminium Association. (2002). *The Aluminium Automotive Manual Manufacturing-Casting methods*. Recuperado de <http://european-aluminium.eu/resource-hub/aluminium-automotive-manual/>

European Aluminium Association. (2011a). *The Aluminium Automotive Manual – Applications – 1 Power train*. Recuperado de <http://european-aluminium.eu/resource-hub/aluminium-automotive-manual/>

Kaufman, J. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. USA: ASM International.

Kaufman, J., Rooy, E. (2004). *Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications*. USA: ASM International.

MAHLE GmbH. (2016). *Cylinder components properties, applications, materials* (2nd ed). Germany: Springer Vieweg.

Rheinfelden alloys. (2016). *Primary aluminium Casting alloys*. Recuperado de http://rheinfelden-alloys.eu/wp-content/uploads/2017/01/Handbook-Primary-Aluminium-Casting-Alloys_RHEINFELDEN-ALLOYS_2016_EN.pdf

Schilling, U., & Schnabel, S. Reacondicionamiento de bloques de motores de aluminio, 2009. Heilbronn: MS Motor Service International GmbH.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Barona López , G., & Velasteguí López, E. (2020). Materiales de aleación aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos Parte II. *ConcienciaDigital*, 3(2), 6-16.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1203>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

