



**Departamento de Posgrados**  
**Maestría en Sistemas Vehiculares**

Análisis del diseño estructural y los procesos de producción de aros  
para vehículos livianos.

**Magíster en Sistemas Vehiculares**

**Autor**

Ing. Pablo Andrés Calle Calderón  
Ing. Edison Santiago Cumbe Fárez

**Director**

Ing. Robert Esteban Rockwood Iglesias Msc.

**Cuenca, Ecuador**

**2016**

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado quiero dedicar a mi Madre Dolorosa, a mi esposa, padres y hermanos quienes me han brindado todo el amor y apoyo necesario para alcanzar mis metas y sueños, a mi abuela que ya no está y que siempre tendrá un espacio en mi corazón.

Pablo Andrés Calle Calderón.

Dedico la presente tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Con todo mi amor y cariño a mi amada esposa Mayra por su sacrificio, apoyo, esfuerzo y comprensión durante todo este tiempo juntos.

A mí amado hijo Nicolás por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día mas y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor. A mis padres y hermano quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

Familiares y amigos porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejo para hacer de mí una persona mejor.

Edisson Santiago Cumbe Fárez.

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este trabajo quiero agradecer primeramente a Dios por darme las fuerzas necesarias en todo momento, también de manera especial a mi esposa por sus consejos, a mi compañero de tesis Edison Cumbe por su dedicación, al Ing. Robert Rockwood por su contribución durante el desarrollo de esta tesis.

Pablo Andrés Calle Calderón.

Al ingeniero Robert Roockwood, por compartir sus conocimientos, experiencia y ser pilar fundamental en el desarrollo del presente proyecto.

A Pablo por su dedicación y constancia quien más que un compañero es un amigo incondicional.

Edison Santiago Cumbe Fárez.

## RESUMEN

En el presente estudio se realizó el análisis de factibilidad por medio de matrices FODA y PEYEA, además se empleó herramientas computacionales para la optimización topológica del aro para vehículos livianos con el objetivo de reducir su masa, para ello se caracterizaron las cargas estáticas que este soporta; luego a partir del análisis de los resultados de las simulaciones computacionales, se definieron las zonas en las cuales es viable eliminar material; de esta manera se logró reducir la masa en un 35.2%.

Sobre el modelo planteado se realizaron estudios de validación dinámicos de impacto en la propuesta de diseño obteniendo como resultados un desplazamiento y esfuerzo máximo de 0,15mm y 139,8 MPa respectivamente.

**Palabras Claves:** aro, factibilidad, estructura, optimización topológica, prueba de impacto.

## ABSTRACT

This study presents a feasibility analysis performed by means of SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) and SPACE (Strategic Position and Action Evaluation) matrices. In addition, computational tools for the topological optimization of light vehicles hoop were used to reduce its mass; for which static loads were characterized. Then, from the analysis of computational simulations results, the zones in which it is feasible to eliminate material were defined. Thus, it was possible to reduce the mass by 35.2%. Based on the submitted model, the design proposal presented dynamic impact validation studies, obtaining a maximum displacement and effort of 0.15 mm and 139.8 MPa, respectively.

**Keywords:** Hoop, Feasibility, Structure, Topological Optimization, Impact Test.



  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

INDICE

ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AROS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Problemática.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Metodología.....	3
1.5. Diseño del muestreo o experimentos y análisis estadísticos: .....	4
1.6. Referencias Bibliográficas.....	4
CAPÍTULO II.....	5
ANALISIS ADMINISTRATIVO.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Misión.....	6
2.3. Visión.....	6
2.4. Análisis y diagnóstico interno y externo.....	6
2.4.1. Matriz priorización FODA.....	6
2.4.2. Matriz de Holmes.....	7
2.4.2.1. Calificación: .....	7
2.4.2.2. Resultados: .....	7
2.4.2.2.1. Priorización de las fortalezas.....	8
2.4.2.2.2. Priorización de las debilidades.....	8
2.4.2.2.3. Priorización de las oportunidades.....	9
2.4.2.2.4. Priorización de las amenazas.....	10
2.5. Estrategias FODA cruzado.....	11
2.6. Matriz de perfil competitivo (MPC).....	13
2.6.1. Los factores críticos de éxito (FCE).....	13
2.6.2. El peso en la matriz.....	13

2.6.3.	El rating.....	13
2.6.4.	Aplicación matriz de perfil competitivo.....	14
2.7.	Matriz de posición estratégica y evaluación de la acción (PEYEA).....	14
2.7.1.	Cuadrantes de la matriz.....	15
2.7.1.1.	Cuadrante Agresivo.....	15
2.7.1.2.	Cuadrante Conservador.....	16
2.7.1.3.	Cuadrante Defensivo.....	16
2.7.1.4.	Cuadrante Competitivo.....	16
2.7.2.	Matriz PEYEA aplicada.....	17
2.7.3.	Cuadrante resultante según matriz PEYEA.....	18
2.7.4.	Estrategias intensivas.....	20
2.7.4.1.	Penetración del mercado.....	20
2.7.4.2.	Desarrollo de mercado.....	20
2.7.4.3.	Desarrollo del producto.....	20
2.8.	Desarrollo de la planificación de la producción.....	21
2.8.1.	Determinación de pronósticos:.....	21
2.9.	Conclusiones.....	29
2.10.	Referencias Bibliográficas.....	30
CAPITULO 3.....		31
PROCESOS DE MANUFACTURA.....		31
3.1.	Introducción.....	31
3.2.	Requisitos.....	31
3.2.1.	Rigidez.....	32
3.2.2.	Rendimiento estático (fuerza).....	32
3.2.3.	Comportamiento a la fatiga.....	32
3.2.4.	Resistencia a la deformación.....	32
3.2.5.	Aspectos térmicos.....	33
3.2.6.	El estilo y el potencial de ahorro de peso.....	33
3.2.7.	Tolerancias dimensionales.....	33
3.2.8.	Resistencia a la corrosión.....	33
3.3.	Aros de aleación de aluminio.....	34
3.3.1.	Procedimientos de Fundición.....	34

3.3.1.1. De baja presión de fundición a presión.....	35
3.3.1.2. La gravedad de fundición en molde permanente.....	36
3.3.1.3. Proceso de fundición a presión y apriete.....	36
3.3.1.4. Fundición contra-presión de gas (CPC).....	37
3.3.1.5. Fundición de forja (Cobapress).....	38
3.3.1.6. Thixomoldeo.....	38
3.3.2. Procesos de desgasificación del aluminio.....	39
3.3.2.1. Fuentes de hidrógeno en aluminio fundido.....	40
3.3.2.2. Los métodos de estimación de contenido de hidrógeno.....	40
3.3.2.3. Desgasificación por flujos.....	41
3.3.2.4. Desgasificación Giratoria.....	41
3.3.3. Aleaciones de colado y el tratamiento.....	43
3.3.3.1. Aluminio y sus aleaciones.....	44
3.3.3.1.1. Clasificación por su estado.....	45
3.3.3.1.2. Serie del aluminio según su aleación.....	46
3.3.4 Características mecánicas de aros tratados térmicamente.....	48
3.4. Aros forjados.....	50
3.4.1 Características generales y ejemplos.....	50
3.4.2 Aspectos de los materiales.....	51
3.5 Acabado superficial.....	52
3.6. Proceso de producción.....	53
3.6.1 Recepción de materia prima.....	54
3.6.2 Inspección.....	54
3.6.3 Corte.....	55
3.6.4 Calentamiento.....	56
3.6.5 Prensado.....	57
3.6.6 Enfriamiento.....	59
3.6.7 Moldeado.....	59
3.6.8 Cocido.....	60
3.6.9 Templado.....	60
3.6.10 Maquinado.....	61

3.6.11 Inspección.....	62
3.6.12 Acabado.....	63
3.7. Conclusiones.....	65
3.8. Referencias Bibliográficas .....	65
CAPITULO 4.....	68
DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	68
4.1. Introducción.....	68
4.2. Preproceso.....	68
4.2.1. Simplificación del modelo.´ .....	70
4.3. Propiedades del aro. ....	71
4.4. Optimización topológica. ....	71
4.4.1. Selección del tamaño de malla. ....	73
4.5. Definición de zonas. ....	75
4.6. Condiciones de contorno.....	76
4.7. Optimización topológica .....	77
4.8. Análisis y validación de la propuesta de diseño.....	78
4.8.1. Análisis de esfuerzos. ....	78
4.8.2 Resultados.....	79
4.9. Conclusiones.....	82
4.10. Referencias Bibliográficas .....	83
CAPITULO 5.....	84
PRUEBA DE IMPACTO PARA RUEDAS DE VEHÍCULOS. ....	84
5.1. Introducción.....	84
5.2. Ensayo mecánico prueba de impacto.....	84
5.2.1. Equipo y procedimiento.....	85
5.3. Propiedades físicas y mecánicas de los elementos. ....	85
5.3.1. Propiedades del aro.....	85
5.3.2. Propiedades de <i>Striker</i> .....	85
5.4. Criterios de fallas mediante análisis de elementos finitos. ....	86
5.5. Modelado. ....	87
5.5.1. Análisis Dinámico.....	87
5.6. Condiciones de contorno.....	90
5.7. Casos estudiados.....	91
5.8. Criterio para el mallado y su convergencia. ....	92

5.9. Localización de sensores de deformación.....	93
5.10. Resultados.....	97
5.11. Conclusiones.....	99
5.12. Referencias Bibliográficas.....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz FODA .....	7
Tabla 2.2 Fortalezas .....	8
Tabla 2.3 Fortalezas priorizadas .....	8
Tabla 2.4 Fortalezas por su valor de ponderación .....	8
Tabla 2.5 Debilidades .....	9
Tabla 2.6 Debilidades priorizadas .....	9
Tabla 2.7 Debilidades por su valor de ponderación. ....	9
Tabla 2.8 Oportunidades .....	10
Tabla 2.9 Oportunidades priorizadas .....	10
Tabla 2.10 Oportunidades por su valor de ponderación.....	10
Tabla 2.11 Amenazas .....	10
Tabla 2.12 Amenazas priorizadas.....	11
Tabla 2.13 Amenazas por su valor de ponderación. ....	11
Tabla 2.14 FODA Cruzado.....	12
Tabla 2.15 Matriz de Perfil Competitivo .....	14
Tabla 2.16 Producción de OMNIBUS BB CINA E .....	24
Tabla 2.17 Producción de AYMESA CINA E.....	24
Tabla 2.18 Tabla de pronósticos de ensamblaje de vehículos .....	26

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Cuadrantes de la Matriz PEYEA.....	17
Gráfico 2.0.2 Aplicación de la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de La Acción (PEYEA) .....	18
Gráfico 2.3 Cuadrante resultado de la aplicación de la matriz PEYEA.....	18
Gráfico 2.4 Ventas mensuales de vehículos livianos 2012-2015.....	23
Gráfico 2.5 Pronóstico ventas OMNIBUS BB.....	27
Gráfico 2.6 Pronóstico ventas AYMESA.....	28
Gráfico 2.7 Pronóstico total OMNIBUS BB – AYMESA.....	28
Gráfico 3.1 Series de aluminios según AISi 11 mg rueda fundida, sin tratamiento térmico. ....	47
Gráfico 3.2 Propiedades estáticas de resistencia, fatiga y elongación.....	49
Gráfico 3.3 Límite de fatiga para una aleación de fundición primaria AISi7Mg-T6.....	50
Gráfico 3.4 Resistencia a la fatiga de forjado AISi1MgMn T6 y LPDC AISi7Mg0.3-T6.....	52
Gráfico 3.5 Especificaciones Técnica aluminio 6061 T6.....	54
Gráfico 3.6 Flujograma de procesos para la producción de aros de aluminio forjados.....	64
Gráfico 4.1 .Diagrama de flujo optimización topológica.....	72
Gráfico 5.1 Sensibilidad del tamaño de malla.....	93
Gráfico 5.2 Esfuerzo principal en sensor 1 del aro de 5 puntas.....	94
Gráfico 5.3 Esfuerzo principal en sensor 2 del aro de 5 puntas.....	95
Gráfico 5.4 Esfuerzo principal en sensor 1 del aro de 12 puntas.....	96
Gráfico 5.5 Esfuerzo principal en sensor 2 del aro de 12 puntas.....	96
Gráfico 5.6 Esfuerzo principal Sensor 1 para las dos geometrías.....	98
Gráfico 5.7 Esfuerzo principal Sensor 2 para las dos geometrías.....	99

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Tratamiento de superficies.....	34
Figura 3.2 Esquema general del proceso de fundición a baja presión. Trabajando en secuencia el proceso HPDC .....	35
Figura 3.3 Proceso de gravedad de fundición en molde permanente.....	36
Figura 3.4 Esquema del proceso de fundición a presión y apriete. ....	37
Figura 3.5 Esquema del proceso de fundición contra-presión de gas. ....	38
Figura 3.6 Esquema del montaje experimental para el proceso de Tixomoldeo.....	39
Figura 3.7 Desgasificador giratorio para el aluminio fundido. ....	42
Figura 3.8 Eficiencia en la desgasificación.....	43
Figura 3.9 AISi 11 mg rueda fundida, sin tratamiento térmico. ....	44
Figura 3.10 Aros forjados ofrecen una variedad de variantes de diseño. ....	51
Figura 3.11 Forja alinea la estructura de grano del aluminio con la forma de la rueda. ....	52
Figura 3.12 Almacenamiento de las barras de aluminio.....	55
Figura 3.13 Sierra de cinta DANOBAT.....	55
Figura 3.14 Lingotes de aluminio .....	56
Figura 3.15 Horno marca PYRADIA.....	57
Figura 3.16 Máquina de prensado DENN. ....	58
Figura 3.17 Prensado del lingote. ....	58
Figura 3.18 Máquina de moldeado DENN.....	59
Figura 3.19 Conformación del aro base. ....	60
Figura 3.20 Aros de aluminio en proceso templado. ....	61
Figura 3.21 CNC de cinco ejes MAZAK. ....	61
Figura 3.22 Proceso de maquinado. ....	62
Figura 3.23 Comprobación de los ángulos del aro terminado. ....	63
Figura 4.1 Nomenclatura de las principales cotas de un aro .....	69
Figura 4.2 Geometría del aro base. ....	70
Figura 4.3 Aro base sin bordes y chaflanes. ....	71
Figura 4.4 Número de elementos en la parte frontal del aro.....	74
Figura 4.5 Número de elementos en la parte lateral de la rueda.....	74
Figura 4.6 Número de elementos de la parte posterior. ....	74
Figura 4.7 Cantidad de elementos en el cubo central del aro.....	75

Figura 4.8 Definición de zonas de diseño y no diseño. ....	75
Figura 4.9 Aro base con fuerza normal cíclica X12 y restricciones.....	76
Figura 4.10 Distribución de la densidad de los elementos, luego del proceso de optimización topológica. (original a colores).....	77
Figura 4.11 Aro optimizado en vista frontal. ....	77
Figura 4.12 Aro optimizado en perspectiva. ....	78
Figura 4.13 Aro optimizado con fuerza normal y restricciones. ....	79
Figura 4.14 Máximo esfuerzo aro base 25,27 MPa. (original a colores).....	80
Figura 4.15 Máximo esfuerzo del aro optimizado 43,61 MPa.....	80
Figura 4.16 Deformación máxima aro base 0.195mm.....	81
Figura 4.17 Deformación máxima aro optimizado 0,351mm. ....	82
Figura 5.1 Disposición y ensamblaje de los equipos para prueba de impacto.....	84
Figura 5.2 Disposición de las partes principales del aro.....	87
Figura 5.3 Ensamblaje la simulación en vista frontal.....	88
Figura 5.4 Malla del aro en vista frontal. ....	88
Figura 5.5 Malla del aro en vista superior. ....	89
Figura 5.6 Malla del striker en vista frontal.....	89
Figura 5.7 Condiciones de contorno en el ensamblaje en vista frontal.....	90
Figura 5.8 Aro con geometría optimizada en perspectiva. ....	92
Figura 5.9 Aro con geometría optimizada en perspectiva. ....	94
Figura 5.10 Ubicación de sensores en aro de 12 puntas. ....	95
Figura 5.11 Máximo esfuerzo en impacto (MPa).....	97
Figura 5.12 Deformación máxima en impacto (mm).....	98



Pablo Andrés Calle Calderón  
Edisson Santiago Cumbe Fárez  
Trabajo de Graduación  
Ing. Robert Esteban Rockwood Iglesias  
Agosto, 2016

## **ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AROS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS**

### **INTRODUCCIÓN**

Los temas a desarrollarse en cada uno de los capítulos de la presente tesis contribuirán al impulso de la industria automotriz nacional debido a la falta de producción y la alta demanda se tiene este sector, por lo tanto el proyecto analizará la factibilidad de la implementación de una empresa de manufactura de aros mediante un análisis FODA, se realizará un plan estratégico de producción que permita proyectarse al futuro, así como también el desarrollo de estrategias según la matriz Peyea, se presentará los diferentes procesos de producción de aros de aleaciones de aluminio para vehículos livianos. Partiendo de un diseño básico que cumpla con todos los estándares para una rueda de un automóvil de turismo se optimizará su geometría con el fin de obtener un diseño que soporte los máximos esfuerzos y con la menor cantidad de material posible. Se ejecutará la prueba de impacto del aro mediante simulación por el método de elementos finitos -MEF-; basándose en la norma SAE J175 *-(Wheels Impact Test Procedures, Road Vehicles)* -, los resultados que se obtengan de estas simulaciones, serán comparados por los presentados por C.L Chang, quien validó las simulaciones con ensayos experimentales. Se replicará los resultados presentados por este autor, validando el proceso de evaluación del diseño de los aros de acuerdo a la normativa aplicable.

## **CAPITULO I.**

### **INTRODUCCIÓN.**

#### **1.1 Problemática.**

El presente proyecto contribuirá al impulso de la industria automotriz nacional, aprovechando la alta demanda que este sector tiene para cumplir con los porcentajes de partes y piezas de manufactura local, que debe tener un vehículo ensamblado en nuestro país, el presente proyecto busca determinar la factibilidad de crear una empresa dedicada al diseño y manufactura de aros de aluminio para vehículos livianos; para ello se estudiará el diseño, procesos de manufactura y de producción.

#### **1.2. Objetivos.**

##### **1.2.1. Objetivo general.**

Analizar el diseño estructural y los procesos de producción de aros para vehículos livianos.

##### **1.2.2. Objetivos específicos.**

Determinar la factibilidad de la implementación de una empresa dedicada a la producción de aros de aluminio mediante un análisis FODA.

Presentar los distintos procesos de producción para la fabricación de aros de aluminio para vehículos livianos.

Obtener una geometría optimizada del aro partiendo de un diseño básico que cumpla con todos los estándares para una rueda de un automóvil de turismo.

Realizar la prueba de impacto del aro basándose en la norma SAE J175 mediante el método de elementos finitos, considerando dimensiones y materiales del diseño.

Determinar los esfuerzos máximos a los que está sometida la estructura en sus partes críticas, así como también las deformaciones admisibles a las que está sometida la rueda. Cotejar los resultados obtenidos en las simulaciones y compararlos con los presentados por C.L Chang, para de esta manera validar el proceso de evaluación del diseño de los aros de acuerdo a la normativa SAE J175.

### **1.3. Justificación.**

Debido a la problemática que representa la falta de producción nacional y a la alta demanda que tiene este sector se ve la oportunidad de establecer una empresa dedicada a diseño y construcción de aros de vehículos.

La ensambladora más grande a nivel nacional (Omnibus BB), adquiere a la industria local baterías, parachoques, vidrios, entre otros. La expectativa es que pronto se empiecen a fabricar aros de aluminio, arneses, juntas homocinéticas y algunos otros componentes, y así lograr abastecer a los vehículos ensamblados, al menos con el 20% de productos nacionales para finales del año 2019.

### **1.4. Metodología.**

En post de contribuir al cambio de la matriz productiva con el fin de fortalecer la oferta nacional de partes y piezas; en la presente investigación se realizó un estudio analítico de los procesos de fabricación para la producción en serie de aros de aluminio para vehículos livianos, además se efectuó una investigación documental utilizando datos históricos del mercado y proyecciones para determinar si es factible la implementación de una empresa de producción nacional. Se utilizó el método de validación del producto mediante análisis estructural por medio de un programa de elementos finitos, se empleó el método analítico, realizando un estudio de impacto para verificar el diseño ejecutado, considerando la carga a la que está sujeto la estructura. Se recurrió a los métodos inductivo y deductivo para evaluar si el diseño del aro propuesto, bajo parámetros como: dimensiones y materiales, son los adecuados para un correcto performance del aro.

### **1.5. Diseño del muestreo o experimentos y análisis estadísticos:**

Para realizar el plan estratégico de producción se obtuvo información de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana –CINAE-. Para la información sobre el análisis estructural del aro se investigó bibliográficamente sobre la norma SAE J267, que establece las especificaciones geométricas que deben cumplir estos elementos, así como también la norma SAE J175, que determina los ensayos experimentales a los que deben ser sometidos para obtener la certificación JWL y poder ser comercializados.

### **1.6. Referencias Bibliográficas.**

C.L. Chang\*, S.H. Yang. (junio 2008). *Finite element simulation of wheel impact test*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.

AEADE (2016). Anuario setenta años de camino.

CINAE (2016). Boletín Estadístico N° 05 – 2015.

SAE. (2001) *Wheels-passenger car and light truck performance requirements and test procedures SAE J328*.

SAE. (2001) *Wheels-impact test procedures-road vehicles SAE J175*.

## **CAPÍTULO II.**

### **ANALISIS ADMINISTRATIVO.**

#### **2.1. Introducción.**

Se determinará la factibilidad de la implementación de una empresa, así también se realizará el proceso de planificación estratégica de la producción mediante la matriz FODA; se considerarán las fortalezas las cuales se deben potencializar y debilidades que ayudarán a trazar estrategias para convertirlas en factores que aporten positivamente a la productividad de la empresa, además se analizará, las amenazas que pueden perjudicar la productividad y estratégicamente tomar decisiones que permitan combatirlas; así como también las oportunidades que se pueden presentar en el entorno, las mismas que se deben aprovechar al máximo.

Se desarrollará un plan estratégico de producción que permita proyectarse hacia el futuro, determinando la factibilidad de la implementación de la empresa, realizando alianzas estratégicas con las ensambladoras del país; las expectativas de ventas determinarán las acciones a tomar en el campo operativo de producción. El plan maestro de producción, consiste de un método efectivo para traducir los pedidos de clientes en producción oportuna; por lo tanto, se deberá establecer la cantidad de recursos materiales y humanos para alcanzar la capacidad productiva necesaria.

El impulso de la producción nacional en la industria automotriz por medio de la introducción de la matriz productiva permite crear proyectos empresariales que estén encaminados a la producción en serie, para lo cual se realizará una planificación estratégica que ayude como una herramienta fundamental, para estar preparados de las diferentes eventualidades, y también el de establecer lineamientos que ayuden al desarrollo de la empresa.

Todas las empresas poseen una estrategia implícita o explícita. En las grandes empresas la planificación estratégica se ha convertido en un proceso formal, donde existen personas

dedicadas a este proceso. En otros casos, la estrategia, es parte de la función de comercialización, es decir, elaborar una planificación de mercado estratégico”<sup>1</sup>.

“La planificación estratégica es un proceso de desarrollo e implementación de técnicas para alcanzar propósitos u objetivos. El objetivo principal es lograr una ventaja competitiva sostenible que arroje un buen nivel de utilidades; y donde se analice la óptima combinación entre los recursos y las oportunidades del negocio.”<sup>2</sup>

## **2.2. Misión.**

Fabricar, comercializar y distribuir autopartes con los mejores estándares de calidad, precio y servicio, buscando siempre la máxima satisfacción de nuestros clientes, a través del mejoramiento continuo de los procesos administrativos y de producción, para posicionarse en el sector automotriz, ofreciendo siempre productos nuevos de acuerdo a las exigencias del mercado.

## **2.3. Visión.**

Ser la empresa líder en la producción y distribución de autopartes a nivel nacional, cumpliendo con los más exigentes requerimientos técnicos y comerciales del mercado para ser el mejor apoyo comercial de nuestros clientes. De esta forma la empresa podrá posicionarse en el mercado nacional y regional como una empresa con productos de calidad superior.

## **2.4. Análisis y diagnóstico interno y externo.**

### **2.4.1. Matriz priorización FODA.**

---

<sup>1</sup> DRUCKER, Peter. (2001). *Administración Épocas Grandes Cambios*. Editor Random House Mondadori.

<sup>2</sup> DUARTE C, Jorge. (2003). *Planificación Estratégica*. 1º Edición, Ecuador.

Al realizar las Matrices de Evaluación de los Factores Externos (EFE) e Internos (EFI) se obtuvieron las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas como se ilustra en la Tabla 2.1.; las cuales se tienen que priorizar mediante la utilización de una herramienta de estrategia, denominada Matriz Relacional de Holmes, con el fin de obtener las que serán de mayor relevancia en la elaboración de las estrategias para la empresa.

MATRIZ FODA			
		Interior de la ORGANIZACIÓN	Procedente del ENTORNO
Pueden generar VENTAJAS	FORTALEZAS		OPORTUNIDADES
	F1	Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio .	O1 Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).
	F2	Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.	O2 Salvaguardias en las importaciones de productos.
	F3	Tener un estudio estructural del producto a fin de garantizar estándares de calidad.	O3 Apoyo del gobierno a las empresas locales mediante la nueva matriz productiva.
	F4	Equipo y maquinaria para la producción.	O4 Establecer relaciones con ensambladoras del país.
	F5	Especializarnos en la elaboración de un producto determinado.	O5 Incremento de la demanda de producto nacional.
Pueden generar PROBLEMAS	DEBILIDADES		AMENAZAS
	D1	No tener experiencia en la elaboración del producto.	A1 Inestabilidad económica y política en el país.
	D2	Ser nuevos en el mercado (desconfianza de clientes).	A2 Importaciones del mismo producto.
	D3	No tener identificado plenamente a sus competidores.	A3 Incremento de costos materia prima.
	D4	Elevado grado de endeudamiento.	A4 Aparición de nuevos competidores.
	D5	Falta de un programa de preparación técnica para trabajadores.	A5 Crecimiento de poder de negociación de los clientes.

Tabla 2.1 Matriz FODA

### 2.4.2. Matriz de Holmes.

El método de la matriz de Holmes tiene como objetivos: identificar y priorizar los problemas llámese debilidades y amenazas. Determinar y valorizar las ventajas competitivas definidas como fortalezas y oportunidades, para de esta manera establecer directrices para la toma de decisiones entre un conjunto de elementos dentro de la organización.

#### 2.4.2.1. Calificación:

1: Si el factor evaluado es relativamente más importante que su contraparte.

0: Si el factor evaluado es relativamente menos importante que su contraparte.

0,5: Si ambos factores son igualmente importantes.

A continuación se presenta los resultados obtenidos:

#### 2.4.2.2. Resultados:

### 2.4.2.2.1. Priorización de las fortalezas.

Las fortalezas pueden generar ventajas competitivas, estas se encuentran en el interior de la organización; las fortalezas que fueron identificadas se detallan a continuación en la Tabla 2.2., en la Tabla 2.3 se especifica las fortalezas según su priorización y en la Tabla 2.4 se define las fortalezas por su valor de ponderación.

Nº.	FACTORES	F1	F2	F3	F4	F5	SUMATORIA	%	ORDEN
F1	Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio .	0,5	1	1	1	1	4,5	36	1
F2	Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.	0	0,5	0,5	1	1	3	24	2
F3	Tener un estudio estructural del producto a fin de garantizar estándares de calidad.	0	0,5	0,5	0	0,5	1,5	12	4
F4	Equipo y maquinaria para la producción.	0	0	1	0,5	1	2,5	20	3
F5	Especializarnos en la elaboración de un producto determinado.	0	0	0,5	0	0,5	1	8	5
<b>TOTAL</b>		<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>12,5</b>	<b>100</b>	

Tabla 2.2 Fortalezas

Nº.	FACTORES	F1	F2	F3	F4	F5	SUMATORIA	%	ORDEN
F1	Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio .	0,5	1	1	1	1	4,5	36	1
F2	Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.	0	0,5	0,5	1	1	3	24	2
F4	Equipo y maquinaria para la producción.	0	0	1	0,5	1	2,5	20	3
F3	Tener un estudio estructural del producto a fin de garantizar estándares de calidad.	0	0,5	0,5	0	0,5	1,5	12	4
F5	Especializarnos en la elaboración de un producto determinado.	0	0	0,5	0	0,5	1	8	5
<b>TOTAL</b>		<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>	

Tabla 2.3 Fortalezas priorizadas

Nº.	FACTORES	%	UBICACIÓN
F1	Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio .	36	36
F2	Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.	24	60
F4	Equipo y maquinaria para la producción.	20	80
F3	Tener un estudio estructural del producto a fin de garantizar estándares de calidad.	12	92
F5	Especializarnos en la elaboración de un producto determinado.	8	100

Tabla 2.4 Fortalezas por su valor de ponderación

### 2.4.2.2.2. Priorización de las debilidades.

Las debilidades pueden ocasionar problemas, estas se encuentran en el interior de la organización; las debilidades que fueron identificadas se detallan a continuación en la Tabla 2.5., en la Tabla 2.6. Se especifica las debilidades según su priorización y en la Tabla 2.7. se define las debilidades por su valor de ponderación.

Nº.	FACTORES	D1	D2	D3	D4	D5	SUMATORIA	%	ORDEN
D1	No tener experiencia en la elaboración del producto.	0,5	0,5	1	1	1	4	32	1
D2	Ser nuevos en el mercado (desconfianza de clientes).	0,5	0,5	1	1	1	4	32	2
D3	No tener identificado plenamente a sus competidores.	0	0	0,5	0	1	1,5	12	4
D4	Elevado grado de endeudamiento.	0	0	1	0,5	1	2,5	20	3
D5	Falta de un programa de preparación técnica para trabajadores.	0	0	0	0	0,5	0,5	4	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4,5</b>	<b>12,5</b>	<b>100</b>	

Tabla 2.5 Debilidades

Nº.	FACTORES	D1	D2	D3	D4	D5	SUMATORIA	%	ORDEN
D1	No tener experiencia en la elaboración del producto.	0,5	0,5	1	1	1	4	32	1
D2	Ser nuevos en el mercado (desconfianza de clientes).	0,5	0,5	1	1	1	4	32	2
D4	Elevado grado de endeudamiento.	0	0	1	0,5	1	2,5	20	3
D3	No tener identificado plenamente a sus competidores.	0	0	0,5	0	1	1,5	12	4
D5	Falta de un programa de preparación técnica para trabajadores.	0	0	0	0	0,5	0,5	4	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4,5</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>	

Tabla 2.6 Debilidades priorizadas

Nº.	FACTORES	%	UBICACIÓN
D1	No tener experiencia en la elaboración del producto.	32	32
D2	Ser nuevos en el mercado (desconfianza de clientes).	32	64
D4	Elevado grado de endeudamiento.	20	84
D3	No tener identificado plenamente a sus competidores.	12	96
D5	Falta de un programa de preparación técnica para trabajadores.	4	100

Tabla 2.7 Debilidades por su valor de ponderación.

#### 2.4.2.2.3. Priorización de las oportunidades.

Las oportunidades pueden generar ventajas competitivas, estas proceden del entorno; las oportunidades que fueron identificadas se detallan a continuación en la Tabla 2.8., en la Tabla 2.9 se especifica las oportunidades según su priorización y en la Tabla 2.10. se define las oportunidades por su valor de ponderación.

Nº.	FACTORES	O1	O2	O3	O4	O5	SUMATORIA	%	ORDEN
O1	Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).	0,5	1	1	0,5	1	4	32	1
O2	Salvaguardias en las importaciones de productos.	0	0,5	0	0	0	0,5	4	5
O3	Apoyo del gobierno a las empresas locales mediante la nueva matriz productiva.	0	1	0,5	0	0	1,5	12	4
O4	Establecer relaciones con ensambladoras del país.	0,5	1	1	0,5	0,5	3,5	28	2
O5	Incremento de la demanda de producto nacional.	0	1	1	0,5	0,5	3	24	3
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>3,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>12,5</b>	<b>100</b>	

Tabla 2.8 Oportunidades

Nº.	FACTORES	O1	O2	O3	O4	O5	SUMATORIA	%	ORDEN
O1	Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).	0,5	1	1	0,5	1	4	32	1
O4	Establecer relaciones con ensambladoras del país.	0,5	1	1	0,5	0,5	3,5	28	2
O5	Incremento de la demanda de producto nacional.	0	1	1	0,5	0,5	3	24	3
O3	Apoyo del gobierno a las empresas locales mediante la nueva matriz productiva.	0	1	0,5	0	0	1,5	12	4
O2	Salvaguardias en las importaciones de productos.	0	0,5	0	0	0	0,5	4	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>3,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>	

Tabla 2.9 Oportunidades priorizadas

Nº.	FACTORES	%	UBICACIÓN
O1	Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).	32	32
O4	Establecer relaciones con ensambladoras del país.	28	60
O5	Incremento de la demanda de producto nacional.	24	84
O3	Apoyo del gobierno a las empresas locales mediante la nueva matriz productiva.	12	96
O2	Salvaguardias en las importaciones de productos.	4	100

Tabla 2.10 Oportunidades por su valor de ponderación.

#### 2.4.2.2.4. Priorización de las amenazas.

Las amenazas pueden generar problemas, estas proceden del entorno; las amenazas que fueron identificadas se detallan a continuación en la Tabla 2.11., en la Tabla 2.12 se especifica las amenazas según su priorización y en la Tabla 2.13. Se define las amenazas por su valor de ponderación.

Nº.	FACTORES	A1	A2	A3	A4	A5	SUMATORIA	%	ORDEN
A1	Inestabilidad económica y política en el país.	0,5	1	1	0,5	1	4	32	1
A2	Importaciones del mismo producto.	0	0,5	0	0	1	1,5	12	4
A3	Incremento de costos materia prima.	0	1	0,5	1	1	3,5	28	2
A4	Aparición de nuevos competidores.	0,5	1	0	0,5	0,5	2,5	20	3
A5	Crecimiento de poder de negociación de los clientes.	0	0	0	0,5	0,5	1	8	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>3,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>	

Tabla 2.11 Amenazas

Nº.	FACTORES	A1	A2	A3	A4	A5	SUMATORIA	%	ORDEN
A1	Inestabilidad económica y política en el país.	0,5	1	1	0,5	1	4	32	1
A3	Incremento de costos materia prima.	0	1	0,5	1	1	3,5	28	2
A4	Aparición de nuevos competidores.	0,5	1	0	0,5	0,5	2,5	20	3
A2	Importaciones del mismo producto.	0	0,5	0	0	1	1,5	12	4
A5	Crecimiento de poder de negociación de los clientes.	0	0	0	0,5	0,5	1	8	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>3,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>	

Tabla 2.12 Amenazas priorizadas

Nº.	FACTORES	%	UBICACIÓN
A1	Inestabilidad económica y política en el país.	32	32
A3	Incremento de costos materia prima.	28	60
A4	Aparición de nuevos competidores.	20	80
A2	Importaciones del mismo producto.	12	92
A5	Crecimiento de poder de negociación de los clientes.	8	100

Tabla 2.13 Amenazas por su valor de ponderación.

## 2.5. Estrategias FODA cruzado.

Para establecer las estrategias más idóneas para la empresa se tuvo que formular la matriz FODA cruzada como se muestra en la Tabla 2.6., la misma sirve para identificar acciones viables mediante el cruce de variables, las cuales se presentan a continuación, con el objetivo de tener una visión más clara de las acciones a realizar en la empresa.

<b>ESTRATEGIAS FODA CRUZADO</b>		<b>FORTALEZAS - F</b>		<b>DEBILIDADES - D</b>	
		<b>F1</b>	Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio .	<b>D1</b>	No tener experiencia en la elaboración del producto.
		<b>F2</b>	Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.	<b>D2</b>	Ser nuevos en el mercado (desconfianza de clientes).
		<b>F4</b>	Equipo y maquinaria para la producción.	<b>D4</b>	Elevado grado de endeudamiento.
		<b>F3</b>	Tener un estudio estructural del producto a fin de garantizar estándares de calidad.	<b>D3</b>	No tener identificado plenamente a sus competidores.
		<b>F5</b>	Especializarnos en la elaboración de un producto determinado.	<b>D5</b>	Falta de un programa de preparación técnica para trabajadores.
<b>OPORTUNIDADES - O</b>		<b>FO: Estrategias OFENSIVAS</b>		<b>DO: Estrategias REORIENTACIÓN</b>	
<b>O1</b>	Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).	F1-F2-F3-F4-F5-O4-O5-O3 Fortalecer los convenios con las ensambladoras, ofreciendo productos de excelente calidad.		D1-D2-D3-D4-D5-O5-O4 Elaborar un plan estrategico que permita el adecuado uso de los recursos.	
<b>O4</b>	Establecer relaciones con ensambladoras del país.				
<b>O5</b>	Incremento de la demanda de producto nacional.				
<b>O3</b>	Apoyo del gobierno a las empresas locales mediante la nueva matriz productiva.	F1-F2-F3-F4-F5-O4-O5-O6 Abastecer la demanda de producto nacional, especializandonos en la produccion de aros de aluminio.		D1-D2-D3-D4-D5-O5-O4 Identificar si podemos o no cubrir, esa tendencia de aumento de vehiculos en el pais	
<b>O2</b>	Salvaguardias en las importaciones de productos.				
<b>AMENAZAS - A</b>		<b>FA: Estrategias DEFENSIVAS</b>		<b>DA: Estrategias SUPERVIVENCIA</b>	
<b>A1</b>	Inestabilidad económica y política en el país.	F1-F2-F3-F4-F5-A2-A4-A3-A5 Mantener una excelente relacion con las ensambladoras, cumpliendo con los estandares de calidad solicitados.		D1-D2-D3-D4-D5-A1-A3-A2-A4-A5 Periodicos y estrictos controles de calidad de la materia prima, para producir un producto con las mas altas exigencias del mercado.	
<b>A3</b>	Incremento de costos materia prima.				
<b>A4</b>	Aparición de nuevos competidores.				
<b>A2</b>	Importaciones del mismo producto.				
<b>A5</b>	Crecimiento de poder de negociación de los clientes.				
		F2-F4-F5-A3-A1-A4-A2-A5 Establecer relaciones a largo plazo con los proveedores, evitando incremento en el costo y la mala calidad de la materia prima.			

Tabla 2.14 FODA Cruzado

## **2.6. Matriz de perfil competitivo (MPC).**

La matriz del perfil competitivo (MPC) es una herramienta que compara la empresa y sus rivales y pone de manifiesto sus fortalezas y debilidades relativas. Con el fin de comprender mejor el entorno externo y la competencia en una industria en particular, las empresas suelen utilizar MPC. La matriz identifica los principales competidores de una empresa y los compara a través del uso de los factores críticos de éxito de la industria. El análisis también revela las fortalezas y debilidades en contraposición de los competidores, por lo tanto la empresa sabría, qué áreas debe mejorar y que áreas proteger.

### **2.6.1. Los factores críticos de éxito (FCE).**

Son las áreas claves, que deben llevarse al nivel más alto posible de excelencia si la empresa quiere tener éxito en una industria en particular. Estos factores varían entre diferentes industrias o incluso entre diferentes grupos estratégicos e incluyen tanto factores internos como externos.

### **2.6.2. El peso en la matriz.**

Cada factor crítico de éxito debe tener un peso relativo que oscila entre 0,0 (poca importancia) a 1.0 (alta importancia). El número indica la importancia que tiene el factor en la industria. Si no hubiera pesos asignados, todos los factores serían igualmente importante, lo cual es un escenario imposible en el mundo real. La suma de todos los pesos debe ser igual a 1,0.

### **2.6.3. El rating.**

El rating en la MPC se refiere a lo bien que lo están haciendo las empresas en cada área. Van desde 4 a 1, en donde:

- 4 significa una gran fortaleza
- 3 fuerza menor
- 2 debilidad menor y
- 1 gran debilidad.

Valoraciones, así como los pesos, se les asigna subjetivamente a cada empresa. Este proceso se puede hacer más fácil a través de la evaluación comparativa. A través de un proceso sistemático y continuo que revela lo bien que están haciendo las empresas en comparación el uno con el otro o el promedio de la industria. Hay que recordar que a las empresas de la matriz se le pueden asignar calificaciones iguales por el mismo factor.

#### 2.6.4. Aplicación matriz de perfil competitivo.

MATRIZ DE PERFIL COMPETITIVO

FACTORES CLAVES DEL EXITO	POTENCIACIÓN	NOVA	CALIFICACIÓN	SISTEMA ACTUAL	CALIFICACIÓN
Innovación	0,3	4	1,2	2	0,6
Sistemas modernos de producción	0,25	3	0,75	1	0,25
Calidad del producto	0,25	4	1	3	0,75
Capacitación del personal	0,3	1	0,3	2	0,6
Endeudamiento	0,1	2	0,2	2	0,2
Competencia	0,1	4	0,4	1	0,1
<b>SUMA</b>	<b>1</b>		<b>3,85</b>		<b>2,5</b>

Tabla 2.15 Matriz de Perfil Competitivo

Hay que destacar que la empresa sería en la actualidad la primera y única empresa que se dedicaría a la elaboración de este tipo de aros, sin embargo se ha realizado una comparación con el sistema actual que existe en lo que a la elaboración y comercialización de aros se refiere, la misma que se encuentra plasmada en la tabla 2.7.; como se puede ver al analizar variables como la Innovación, Calidad del producto, Capacitación del personal, Financiamiento y competencia; al ser un emprendimiento enfocado a una actividad a la que las demás empresas no se han dedicado tiene una puntuación de 3,85 frente a las demás empresas que poseen un 2,5.

#### 2.7. Matriz de posición estratégica y evaluación de la acción (PEYEA)<sup>3</sup>.

Su esquema de cuatro cuadrantes indica si las estrategias Agresivas, Conservadoras, Defensivas o Competitivas son las más adecuadas para una organización específica.

<sup>3</sup> FRED, David. *Conceptos de Administración Estratégica*. Pearson – Prentice Hall. Decimoprimer edición

Se definen así:

- Dimensiones Internas: X (-) Ventaja Competitiva, Y (+) Fortalezas Financieras.
- Dimensiones Externas: X (+) Fuerza de la Industria, Y (-) Estabilidad Ambiental.

Al desarrollar una matriz PEYEA se deben considerar los factores que se incluyeron previamente en las matrices EFE e EFI. Se desarrolla en 6 pasos.

1. Seleccione una serie de variables para definir la FF, VC, EA y FI.
2. Asigne a cada una de las variables que componen las dimensiones FF y FI un valor que oscile entre +1 (el peor) y +6 (el mejor). Igual para VC y EA un valor entre -1 (el mejor) y -6 (el peor).
3. Calcule una puntuación promedio para FF, VC, FI, EA sumando los valores otorgados a las variables de cada dimensión y luego dividiéndolos entre el número de variables vinculadas en la dimensión respectiva.
4. Trace las puntuaciones promedio para FF, FI, EA y VC en el eje apropiado de la matriz SPACE.
5. Sume las dos puntuaciones en el eje x y trace el punto resultante en X. Sume las dos puntuaciones en el eje y y trace el punto resultante en Y. Trace la intersección del nuevo punto XY.
6. Dibuje un vector direccional desde el origen hasta el punto de intersección  
De acuerdo a la posición, se determinan los cuadrantes y se definen los tipos de estrategia que se implementará.

### **2.7.1. Cuadrantes de la matriz.**

Luego de obtener los resultados de la matriz PEYEA podremos determinar en que cuadrante nos ubicaremos como empresa, existen 4 cuadrantes los cuales se detallarán a continuación y se encuentran representados en el Gráfico 2.1. Ubicado luego de la explicación breve de cada cuadrante.

#### **2.7.1.1. Cuadrante Agresivo.**

Una organización está en una posición excelente para usar sus fortalezas internas con el fin de 1. Aprovechar las oportunidades externas, 2. Superar las debilidades, 3. Evitar las amenazas. La penetración y el desarrollo de mercado, el desarrollo de productos, la

integración hacia atrás, directa y horizontal, la diversificación de conglomerados, la diversificación concéntrica, la diversificación horizontal, o una combinación son viables.

#### **2.7.1.2. Cuadrante Conservador.**

Implicaría mantenerse cerca de las competencias básicas de la empresa y evitar riesgos excesivos. Estrategias: penetración y desarrollo de mercado, el desarrollo de productos y la diversificación concéntrica.

#### **2.7.1.3. Cuadrante Defensivo.**

Sugiere que la empresa debería enfocarse en la rectificación de debilidades internas y en evitar amenazas externas. Estrategias: Reducción, desinversión, liquidación y diversificación concéntrica.

#### **2.7.1.4. Cuadrante Competitivo.**

Integración hacia atrás, directa y horizontal, la penetración y el desarrollo de mercado, el desarrollo de producto y las empresas conjuntas ponderado total de la organización.

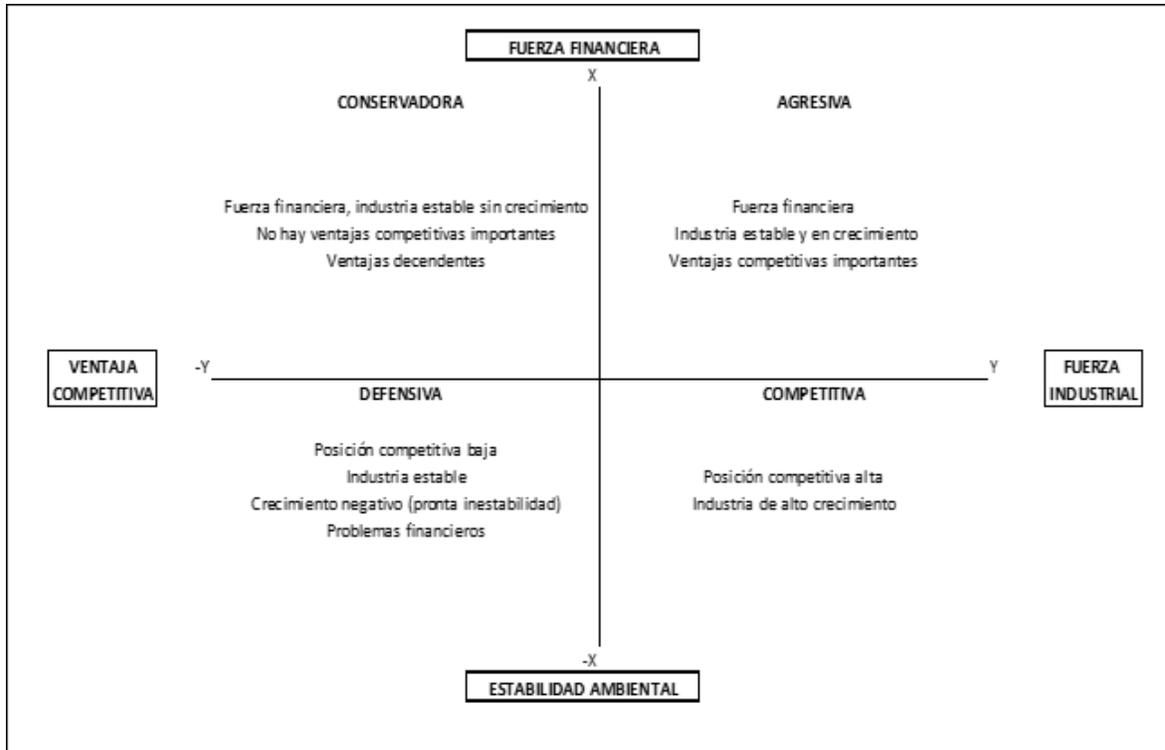


Gráfico 2.1 Cuadrantes de la Matriz PEYEA

### 2.7.2. Matriz PEYEA aplicada.

Una vez explicado en teoría la estructura y desarrollo de una matriz PEYEA se aplica la misma a la empresa, la cual se encuentra representada en el cuadro 2.1.

MATRIZ DE POSICIÓN ESTRATEGICA Y EVALUACIÓN DE LA ACCIÓN PEYEA			
		X= FF+EA	1,5
		Y=VC+FI	2
<b>FUERZAS FINANCIERAS</b>		<b>FUERZAS DE LA INDUSTRIA</b>	
Liquidez	4	Potencial de Crecimiento	5
Capital de Trabajo	6	Demanda	5
Riesgos implícitos del Negocio	3	Regulaciones del sector	5
Apalancamiento	6	Aprovechamiento de recursos	6
		<u>4,75</u>	<u>5,25</u>
<b>VENTAJAS COMPETITIVAS</b>		<b>ESTABILIDAD DEL AMBIENTE</b>	
Participación en el mercado	-2	Cambios tecnológicos	-4
Calidad del producto	-6	Variabilidad de la demanda	-4
Control sobre los proveedores	-4	Presión Competitiva	-2
Lealtad de los clientes	-1	Estabilidad política y social	-3
		<u>3,25</u>	<u>-3,25</u>

Gráfico 2.0.2 Aplicación de la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de La Acción (PEYEA)

### 2.7.3. Cuadrante resultante según matriz PEYEA

Como siguiente paso, luego de obtener los resultados de la matriz PEYEA de la empresa se determina el cuadrante en el que se ubica el mismo que se presenta en el Gráfico 2.2.

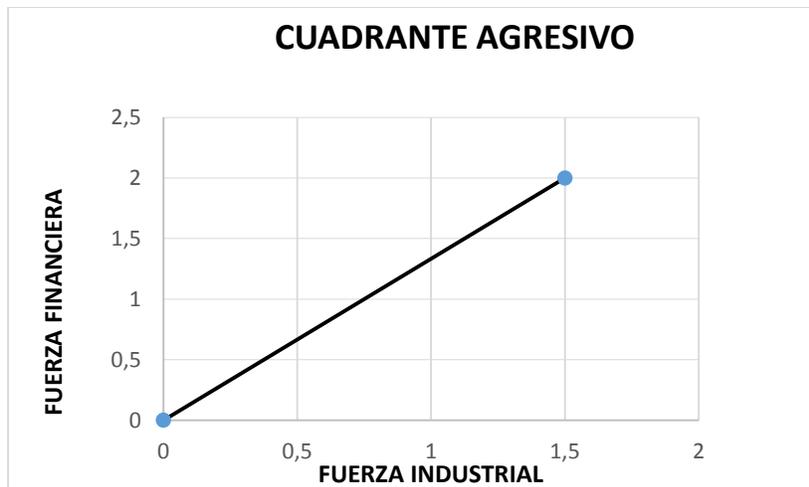


Gráfico 2.3 Cuadrante resultado de la aplicación de la matriz PEYEA

De acuerdo a los resultados de la Matriz PEYEA se puede determinar las estrategias a aplicar para poder desarrollar el proyecto; la matriz PEYEA confirma que la empresa es

nueva e innovadora como se había comentado anteriormente debido a que los resultados están ubicados en el cuadrante I el mismo que implica la aplicación de estrategias agresivas, de crecimiento intensivo, integrativas y de diversificación propias que busca ingresar al mercado con fuerza y con vistas a posicionarse en el mismo; de acuerdo a la naturaleza se aplicaran las estrategias intensivas ya que es una empresa nueva en el mercado.

Al estar en el cuadrante agresivo la empresa deberá utilizar sus fortalezas internas que son:

- Ser la primera empresa de producción de aros de aluminio.
- Una empresa enfocada en sistemas modernos de producción.
- Equipo y maquinaria para la producción.
- Contar con estudios de ingeniería del producto a fin de garantizar estándares de calidad.
- Especialice en la elaboración de un producto determinado.

Para de esta manera aprovechar de las oportunidades externas que brinda el mercado y entorno que en el caso de la empresa son:

- Otorgamiento de créditos para emprendimientos dentro del país (CFN).
- Establecer relaciones con ensambladoras del país.
- Incremento de la demanda de producto nacional.
- Impulso del gobierno al emprendimiento de empresas dedicadas a la producción local mediante la matriz productiva.
- Salvaguardias en las importaciones de productos.

Al tomar como ventaja estos dos factores que aportan aspectos positivos a la empresa se puede mitigar el impacto negativo que ejercen sobre la empresa las debilidades que son aspectos internos de la mismas y las amenazas que si bien no están bajo el control de la misma la llegan a afectar.

Las estrategias que se van a utilizar en la empresa para el desarrollo de la misma son los siguientes:

#### **2.7.4. Estrategias intensivas.**

Debido a que es una empresa nueva que se encuentra emprendiendo en el mercado se encuentra ubicada en el cuadrante I de la matriz PEYEA por lo que las estrategias a ser aplicadas deberán ser las intensivas teniendo en ellas la oportunidad de poder hacer un excelente ingreso en el mercado ecuatoriano con la oferta de aros con diseño de equipo de fábrica para las diferentes marcas de vehículos que existen en el Ecuador.

Dentro de las estrategias intensivas se tiene las siguientes:

##### **2.7.4.1. Penetración del mercado.**

Al ser una empresa nueva en el mercado ecuatoriano deberá comenzar desde cero por su estrategia de penetración en el mercado deberá surgir a partir de un estudio del mercado para poder conocer y determinar quién será su público meta y a partir de esto poder desarrollar sus campañas publicitarias, promociones a aplicar de acuerdo al segmento de mercado que apunten por ejemplo el descuento a aplicar a un consumidor final no será el mismo que deberá aplicar para un sub distribuidor que realiza las funciones de reventa del producto.

Por ende en este tipo de estrategia se deberá analizar a profundidad la publicidad a realizar, el ajuste en precios de acuerdo el tipo de cliente, busca de canales de distribución y la mejora continua del producto.

##### **2.7.4.2. Desarrollo de mercado.**

Si bien el desarrollo de mercado se realiza por lo general con empresas posicionadas y que buscan expandir sus horizontes, se puede también aplicar a este proyecto debido a que la esencia de esta estrategia a más de buscar incrementar ventas mediante la expansión de mercado busca detectar nichos que no se hayan explotados. Esta empresa al producir y comercializar una línea de aros con el diseño que viene el equipo original de un vehículo entra en este sector pues al ser una empresa innovadora está ingresando en un mercado que no se ha desarrollado en nuestro país.

##### **2.7.4.3. Desarrollo del producto.**

Una de las opciones que existen dentro de esta estrategia es la de ofrecer un producto o servicio de mejor calidad y de esta manera persuadir al consumidor de que adquiera el mismo dentro de otras opciones que existen en el mercado. Otra opción que permite esta estrategia a la empresa es la capacidad de dirigir recursos hacia la investigación y desarrollo del producto debido a que al ser un proyecto nuevo que no se ha realizado dentro del país o no se ha ejecutado, la empresa debe realizar un estudio e investigación integro para poder realizar la elaboración de sus aros, es decir deberá analizar sistemas de producción, tecnología a implementar, materia prima e insumos y un sin fin de procesos para poder tener como resultado final un aro de excelente calidad.

## **2.8. Desarrollo de la planificación de la producción.**

### **2.8.1. Determinación de pronósticos:**

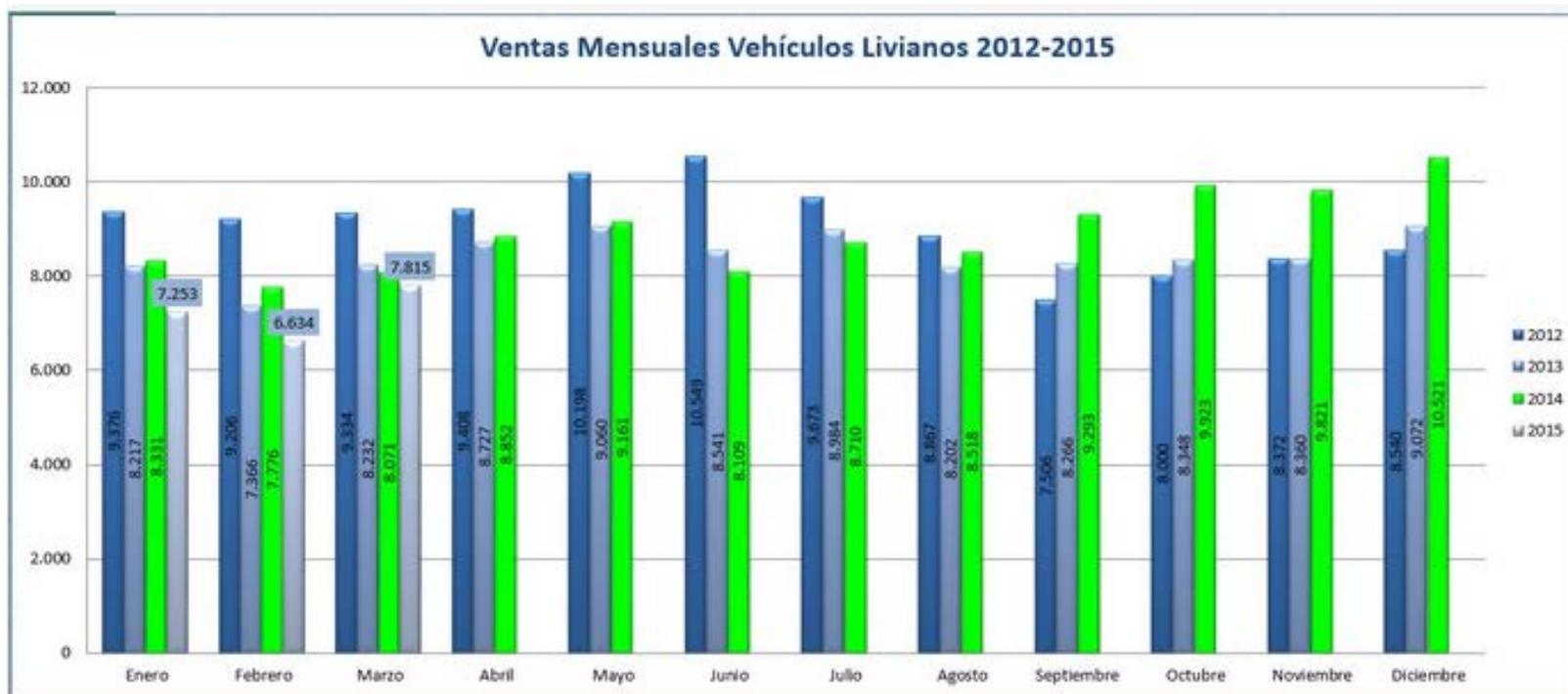
Para determinar los pronósticos de producción en la empresa se tomó como datos históricos las ventas mensuales de los vehículos ensamblados en el país de los años 2012, 2013, 2014 y los cinco primeros meses del año 2015 que fueron publicadas por el CINAE en su anuario del año pasado, ya que para la empresa sus principales clientes serán las plantas ensambladoras del país.

“La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) elaboró la estadística sobre el movimiento comercial del sector automotor en el 2014. Con la vigencia de la Resolución No. 66 del Comité de Comercio Exterior (Comex) del 15 de junio del 2011, que estableció restricciones a las importaciones de automotores, desde el 2012 el mercado ecuatoriano presentó un decrecimiento respecto de las cifras de ventas de los años 2010 y 2011. Durante el 2013, en Ecuador se comercializaron 113 940 vehículos de todos los segmentos (excepto motos), lo cual representa una reducción de 7 506 unidades (6,18%) respecto de las 121 446 del 2012, y de 25 953 (18,5%) en relación con las 139 893 del 2011, año en el que se implementó la medida. Según Diego Luna, presidente de la AEADE, ese 18,5% de reducción en las ventas se traduce, en términos monetarios, en USD 260 millones que dejaron de importarse. Con ello, asegura que el sector automotor evidencia una importante contribución para lograr el objetivo del Gobierno Nacional de reducir el volumen de las importaciones, con el fin de equilibrar la balanza comercial. La información presentada por la AEADE también indica que Pichincha y Guayas, las dos provincias más

pobladas del país, concentraron el 68% de las ventas nacionales, con el 41% y el 27%, respectivamente. En cuanto a la participación de mercado por marcas, Chevrolet obtuvo el 44,1%, seguido de Kia con el 10,8%, de Hyundai con el 8,5%, de Nissan con el 5,8%, de Toyota con el 5,6%, de Mazda con el 5,6%, de Ford con el 3,6%, de Hino con el 3,3%, de Renault con el 2,2% y de Volkswagen con el 1,6%. Otro dato interesante es el hecho de que la mitad de todos vehículos vendidos se produjo localmente.”<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>Diario El Comercio (2014, 15 de abril). Economía. Quito Ecuador. Recuperado de [http://www.elcomercio.com/deportes/Carburando-autos-automoviles-Aeade\\_0\\_1081091885.html](http://www.elcomercio.com/deportes/Carburando-autos-automoviles-Aeade_0_1081091885.html)



Fuente: AEADE.

Gráfico 2.4 Ventas mensuales de vehículos livianos 2012-2015

<b>PRODUCCION OMNIBUS BB CINAE</b>				
<b>MES</b>	<b>AÑO 2012</b>	<b>AÑO 2013</b>	<b>AÑO 2014</b>	<b>AÑO 2015</b>
<b>ENERO</b>	2492	1812	2266	2021
<b>FEBRERO</b>	2203	1953	2022	1886
<b>MARZO</b>	2467	1923	1843	1592
<b>ABRIL</b>	1782	2532	2207	1326
<b>MAYO</b>	2442	2414	1778	1393
<b>JUNIO</b>	2504	2338	1639	
<b>JULIO</b>	2384	1579	2135	
<b>AGOSTO</b>	2484	2153	1524	
<b>SEPTIEMBRE</b>	2471	2206	2186	
<b>OCTUBRE</b>	2668	2587	2403	
<b>NOVIEMBRE</b>	2674	2234	2092	
<b>DICIEMBRE</b>	1026	1256	1462	

Fuente: Anuario CINAE.

Tabla 2.16 Producción de OMNIBUS BB CINAE

<b>PRODUCCION AYMESA CINAE</b>				
<b>MES</b>	<b>AÑO 2012</b>	<b>AÑO 2013</b>	<b>AÑO 2014</b>	<b>AÑO 2015</b>
<b>ENERO</b>	374	725	183	312
<b>FEBRERO</b>	426	817	282	397
<b>MARZO</b>	582	705	381	261
<b>ABRIL</b>	656	880	444	194
<b>MAYO</b>	759	861	560	255
<b>JUNIO</b>	214	714	565	
<b>JULIO</b>	607	902	538	
<b>AGOSTO</b>	928	0	443	
<b>SEPTIEMBRE</b>	774	0	449	
<b>OCTUBRE</b>	607	0	396	
<b>NOVIEMBRE</b>	587	0	409	
<b>DICIEMBRE</b>	433	1961	427	

Fuente: Anuario CINAE.

Tabla 2.17 Producción de AYMESA CINAE

## PRONOSTICOS DE ENSAMBLAJE DE VEHICULOS

AÑO	MES	PERIODO	OMNIBUS BB	AYMESA	TOTAL	REG.LINEAL	REG.LINEAL	REG.LINEAL	FACTOR	FACTOR	FACTOR	FACTOR	al	AJUSTADA	AJUSTADA
						OMNIBUS BB	AYMESA	TOTAL	OMNIBUS BB	AYMESA	TOTAL	REPRESEN	OMNIBUS BB	AYMESA	TOTAL
2012	ENERO	1	2492	374	2866	2405	670	3075	1,04	0,56	0,93	1,03	2487	693	3180
	FEBRERO	2	2203	426	2629	2387	662	3050	0,92	0,64	0,86	0,98	2337	648	2985
	MARZO	3	2467	582	3049	2370	654	3024	1,04	0,89	1,01	0,95	2243	619	2863
	ABRIL	4	1782	656	2438	2353	646	2999	0,76	1,01	0,81	0,96	2262	621	2883
	MAYO	5	2442	759	3201	2335	639	2974	1,05	1,19	1,08	0,98	2290	626	2916
	JUNIO	6	2504	214	2718	2318	631	2949	1,08	0,34	0,92	1,02	2357	641	2998
	JULIO	7	2384	607	2991	2301	623	2923	1,04	0,97	1,02	0,97	2242	607	2849
	AGOSTO	8	2484	928	3412	2283	615	2898	1,09	1,51	1,18	0,98	2239	603	2842
	SEPTIEMBRE	9	2471	774	3245	2266	607	2873	1,09	1,28	1,13	1,11	2526	677	3203
	OCTUBRE	10	2668	607	3275	2248	599	2848	1,19	1,01	1,15	1,26	2823	752	3575
	NOVIEMBRE	11	2674	587	3261	2231	591	2822	1,20	0,99	1,16	1,15	2570	681	3251
	DECIEMBRE	12	1026	433	1459	2214	583	2797	0,46	0,74	0,52	0,63	1404	370	1775
2013	ENERO	13	1812	725	2537	2196	575	2772	0,82	1,26	0,92	1,03	2271	595	2867
	FEBRERO	14	1953	817	2770	2179	568	2747	0,90	1,44	1,01	0,98	2133	556	2688
	MARZO	15	1923	705	2628	2162	560	2721	0,89	1,26	0,97	0,95	2046	530	2576
	ABRIL	16	2532	880	3412	2144	552	2696	1,18	1,59	1,27	0,96	2062	531	2592
	MAYO	17	2414	861	3275	2127	544	2671	1,13	1,58	1,23	0,98	2085	533	2619
	JUNIO	18	2338	714	3052	2110	536	2646	1,11	1,33	1,15	1,02	2145	545	2690
	JULIO	19	1579	902	2481	2092	528	2620	0,75	1,71	0,95	0,97	2039	515	2554
	AGOSTO	20	2153	0	2153	2075	520	2595	1,04	0,00	0,83	0,98	2035	510	2545
	SEPTIEMBRE	21	2206	0	2206	2058	512	2570	1,07	0,00	0,86	1,11	2294	571	2865
	OCTUBRE	22	2587	0	2587	2040	505	2545	1,27	0,00	1,02	1,26	2561	633	3195
	NOVIEMBRE	23	2234	0	2234	2023	497	2519	1,10	0,00	0,89	1,15	2330	572	2902
	DECIEMBRE	24	1256	1961	3217	2005	489	2494	0,63	4,01	1,29	0,63	1272	310	1582
2014	ENERO	25	2266	183	2449	1988	481	2469	1,14	0,38	0,99	1,03	2056	497	2553
	FEBRERO	26	2022	282	2304	1971	473	2444	1,03	0,60	0,94	0,98	1929	463	2392
	MARZO	27	1843	381	2224	1953	465	2418	0,94	0,82	0,92	0,95	1849	440	2289
	ABRIL	28	2207	444	2651	1936	457	2393	1,14	0,97	1,11	0,96	1861	440	2301
	MAYO	29	1778	560	2338	1919	449	2368	0,93	1,25	0,99	0,98	1881	441	2322
	JUNIO	30	1639	565	2204	1901	441	2343	0,86	1,28	0,94	1,02	1933	449	2382
	JULIO	31	2135	538	2673	1884	434	2318	1,13	1,24	1,15	0,97	1836	423	2259
	AGOSTO	32	1524	443	1967	1867	426	2292	0,82	1,04	0,86	0,98	1831	417	2248
	SEPTIEMBRE	33	2186	449	2635	1849	418	2267	1,18	1,07	1,16	1,11	2062	466	2528
	OCTUBRE	34	2403	396	2799	1832	410	2242	1,31	0,97	1,25	1,26	2300	515	2814
	NOVIEMBRE	35	2092	409	2501	1815	402	2217	1,15	1,02	1,13	1,15	2090	463	2553
	DECIEMBRE	36	1462	427	1889	1797	394	2191	0,81	1,08	0,86	0,63	1140	250	1390

2015	ENERO	37	2021	312	2333	1780	386	2166	1,14	0,81	1,08	1,03	1841	399	2240
	FEBRERO	38	1886	397	2283	1762	378	2141	1,07	1,05	1,07	0,98	1725	370	2095
	MARZO	39	1592	261	1853	1745	370	2116	0,91	0,70	0,88	0,95	1652	351	2003
	ABRIL	40	1326	194	1520	1728	363	2090	0,77	0,54	0,73	0,96	1661	349	2010
	MAYO	41	1393	255	1648	1710	355	2065	0,81	0,72	0,80	0,98	1677	348	2025
	JUNIO	42				1693	347	2040				1,02	1722	353	2074
	JULIO	43				1676	339	2015				0,97	1633	330	1964
	AGOSTO	44				1658	331	1989				0,98	1626	325	1951
	SEPTIEMBRE	45				1641	323	1964				1,11	1830	360	2190
	OCTUBRE	46				1624	315	1939				1,26	2088	396	2434
	NOVIEMBRE	47				1606	307	1914				1,15	1850	354	2204
	DICIEMBRE	48				1589	299	1888				0,63	1008	190	1198
2016	ENERO	49				1572	292	1863				1,03	1625	302	1927
	FEBRERO	50				1554	284	1838				0,98	1521	278	1799
	MARZO	51				1537	276	1813				0,95	1455	261	1716
	ABRIL	52				1519	268	1787				0,96	1461	258	1718
	MAYO	53				1502	260	1762				0,98	1473	255	1728
	JUNIO	54				1485	252	1737				1,02	1510	256	1766
	JULIO	55				1467	244	1712				0,97	1430	238	1668
	AGOSTO	56				1450	236	1686				0,98	1422	232	1654
	SEPTIEMBRE	57				1433	229	1661				1,11	1597	255	1852
	OCTUBRE	58				1415	221	1636				1,26	1777	277	2054
	NOVIEMBRE	59				1398	213	1611				1,15	1610	245	1855
	DICIEMBRE	60				1381	205	1586				0,63	876	130	1006
2017	ENERO	61				1363	197	1560				1,03	1410	204	1614
	FEBRERO	62				1346	189	1535				0,98	1317	185	1502
	MARZO	63				1329	181	1510				0,95	1258	172	1429
	ABRIL	64				1311	173	1485				0,96	1261	167	1427
	MAYO	65				1294	165	1459				0,98	1269	162	1431
	JUNIO	66				1276	158	1434				1,02	1298	160	1458
	JULIO	67				1259	150	1409				0,97	1227	146	1373
	AGOSTO	68				1242	142	1384				0,98	1218	139	1357
	SEPTIEMBRE	69				1224	134	1358				1,11	1365	149	1514
	OCTUBRE	70				1207	126	1333				1,26	1515	158	1674
	NOVIEMBRE	71				1190	118	1308				1,15	1370	136	1507
	DICIEMBRE	72				1172	110	1283				0,63	744	70	814

Tabla 2.18 Tabla de pronósticos de ensamblaje de vehículos

Una vez conocido los datos históricos de las ventas mensuales de los vehículos ensamblados en el país en los últimos cuatro años por las dos plantas ensambladoras del país como son OMNIBUS BB y AYMESA, por medio del método de regresión lineal se determinó cuáles serán las ventas de vehículos en los próximos dieciocho meses y de esta manera determinar la tendencia de venta en estas dos empresas dedicadas al ensamblaje de vehículos. Como se muestra en el grafico 2.4 el pronóstico de ventas para la empresa OMNIBUS BB hasta el año 2017.

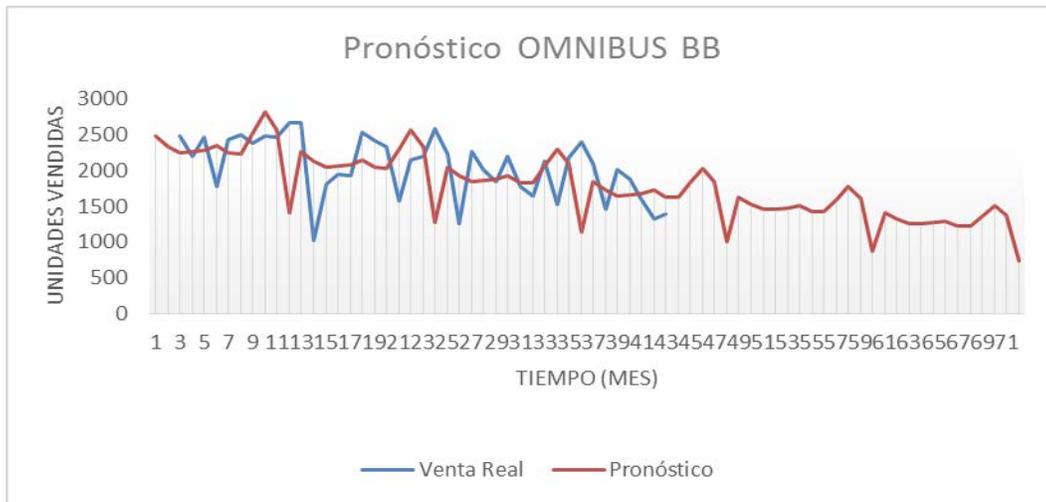


Gráfico 2.5 Pronóstico ventas OMNIBUS BB.

Se obtuvo por medio de pronósticos cuáles serán las ventas de vehículos en los próximos dieciocho meses. Como se ilustra en el grafico 2.5 el pronóstico de ventas para la empresa AYMESA hasta el año 2017.

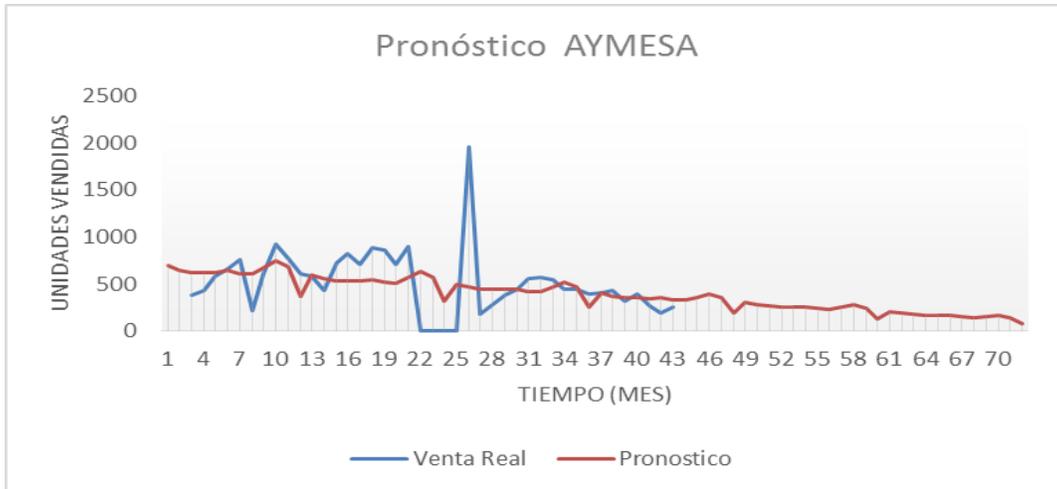


Gráfico 2.6 Pronóstico ventas AYMESA.

Luego de calcular los pronósticos para los próximos dieciocho meses de las dos plantas ensambladoras se suman estos dos cálculos y de esta manera se determinar la tendencia de venta total de las dos empresas dedicadas al ensamblaje de vehículos. Como se muestra en el grafico 2.6 el pronóstico de ventas total para las empresas OMNIBUS BB - AYMESA hasta el año 2017.

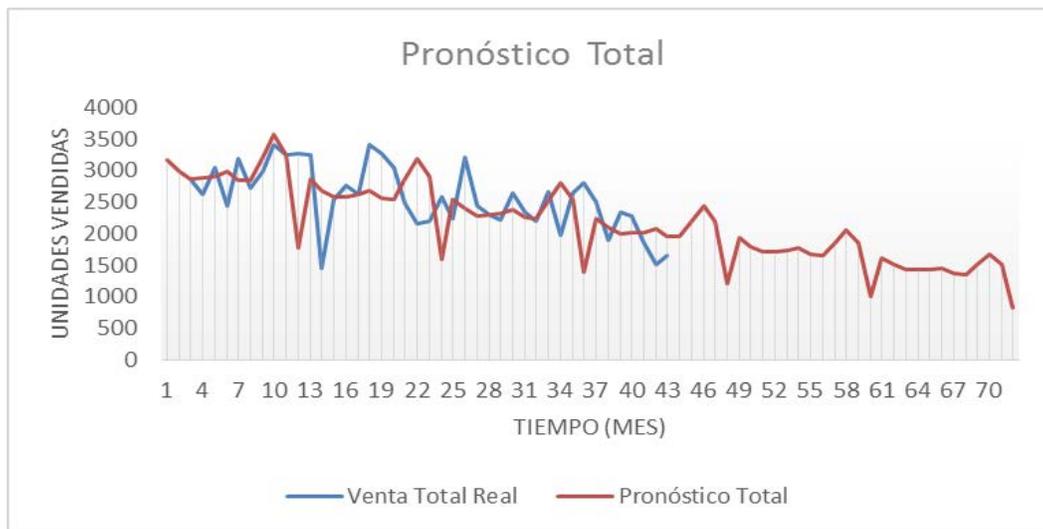


Gráfico 2.7 Pronóstico total OMNIBUS BB – AYMESA.

## **2.9. Conclusiones.**

Un plan estratégico es el punto de partida en la cual una empresa define su filosofía, donde se plantea la misión y objetivos estratégicos enfocados en la satisfacción del cliente y la aplicación de planes de mejora que permiten alcanzar la visión planteada.

En este proyecto se analizó la factibilidad de la implementación de la empresa, no se pueden realizar estudios profundos en manejos de inventario debido a que los costos de producción y mantenimiento están en función del producto final. Sin embargo los resultados proyectados son una pauta para encaminar este estudio y analizarlo de forma adecuada.

Muchas de las herramientas utilizadas en este proceso de planificación son de gran importancia para visualizar un proyecto a futuro o en su defecto para encaminar un negocio ya en funcionamiento.

Con el objetivo de determinar que estrategias se podrían utilizar para enfocar y dirigir de mejor manera la empresa se ha aplicado la matriz PEYEA como se ha mencionado anteriormente es una herramienta que consta de 4 cuadrantes los mismos que definen las etapas en las que se pueden encontrar las empresas, de esta manera al desarrollar dicha matriz hemos podido predecir que la empresa se encontraría en el cuadrante agresivo el mismo que está determinado por la Fuerza Financiera y la Fuerza Industrial lo que da como resultado o conclusión que se deberán aplicar las estrategias Intensivas las mismas que nos permitirán incursionar en el mercado de una mejor manera y planificada debido a que es un nuevo proyecto y equivale a una nueva empresa que son las que se ubican en dicho cuadrante. De esta manera se desarrollaran las estrategias intensivas con el objetivo de reforzar y desarrollar de mejor manera las fortalezas y de tomar de la mejor manera y aprovechar las oportunidades que nos brinde los medios y el mercado.

Mediante el análisis realizado tanto a los cuadros históricos de ventas de los últimos veinte y cuatro meses de las dos principales ensambladoras del país proporcionados por el CINAIE, así como también él estudió de pronósticos para los próximos dieciocho meses, se determinó que el comportamiento del mercado en la venta de vehículos nuevos tiene una tendencia a la baja, por lo tanto no es factible por el momento la implementación de esta

empresa ya que la demanda por el producto no es la esperada debido a lo contraído que esta el mercado.

Aunque estudios demuestran que el reciclaje podría ser viable para abastecer ciertos segmentos del mercado, para la producción de aros de aluminio con estándares de calidad internacional es imperativo que la materia prima sea aluminio 6061 T6 puro, para evitar la presencia de irregularidades en una determinada zona sometida a esfuerzos mecánicos que puede actuar como punto de partida para la formación de defectos como agrietamientos, los cuales disminuirá la calidad pudiendo generar roturas durante el servicio o el origen de fallos a fatiga.

## **2.10. Referencias Bibliográficas.**

Duarte C., Jorge. (2003). *Planificación Estratégica*, 1º Edición, Ecuador.

AEADE (2016). Anuario setenta años de camino.

CINAE (2016). Boletín Estadístico N° 05 – 2015.

Drukert, P. (2001). *Administración Épocas Grandes Cambios* Editor Random House Mondadori.

Render, B. Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones*, 9na Edición, Pearson, Mexico.

## **CAPITULO 3.**

### **PROCESOS DE MANUFACTURA.**

#### **3.1. Introducción.**

El neumático es el único componente del vehículo que está en contacto con la carretera, pero el aro es un componente importante en el automóvil ya que permite transmitir el torque entregado hacia la calzada, se procura que mientras mejor sea el ensamblaje neumático-rueda menor será las pérdidas de transmisión del par motor. Tienen que ser livianos para mejorar el rendimiento energético del vehículo, pero también tienen que ser resistentes para soportar el peso del automotor, así como las cargas dinámicas y externas que este soporta, el aro no puede fallar porque de él depende la seguridad del auto y de sus pasajeros.

En Europa, la utilización de aros de aluminio se originó en el desarrollo del Porsche 911 en 1962 pues ofrecía un aspecto atractivo, además se consigue la reducción de la masa no suspendida, por ello mejora la maniobrabilidad del vehículo, aportando a la seguridad y al confort durante la conducción. En 1970, los aros de aleación de aluminio fueron producidos en serie por la fábrica. (Saint Jean Wheels, 2015)

Los aros tienen que proporcionar funciones críticas de seguridad y cumplir con altos estándares de diseño, ingeniería y mano de obra. Casi todos los aros de aluminio modernos se fabrican por uno de dos procesos: fundición y forja. Su rendimiento es resultado directo de la técnica de fabricación empleada.

#### **3.2. Requisitos.**

La industria automotriz exige a sus proveedores de aros un producto de alta calidad que además de cumplir con todos los requisitos de las condiciones de conducción normal, sea capaz de soportar circunstancias críticas de manejo debido a circunstancias externas.

Durante la fase de diseño de un aro de aluminio, se debe considerar las siguientes características:

### **3.2.1. Rigidez.**

La rigidez estructural es el parámetro básico de ingeniería para ser examinado en el diseño de un aro de aluminio que ofrece al menos el mismo rendimiento del vehículo con un aro de acero equivalente. La rigidez estructural está determinada por la forma final del aro y el módulo de elasticidad del material (módulo de Young). (Ortolá, S. 2009)

### **3.2.2. Rendimiento estático (fuerza).**

Con el fin de evitar cualquier deformación bajo cargas axiales (aceleraciones y el frenado) y deformaciones radiales, se debe llevar a cabo pruebas de rendimiento bajo presión para determinar el límite elástico y la resistencia a la tracción. Un factor adicional, importante es la resistencia a la temperatura, es decir, la rueda debe ser capaz de tolerar temperaturas de hasta 200°C debido a la proximidad de los frenos. (Universidad Católica Argentina. 2008).

### **3.2.3. Comportamiento a la fatiga.**

El comportamiento a la fatiga es el parámetro más importante para el dimensionamiento del aro, métodos de simulación numérica se utilizan de forma sistemática durante el diseño ya que permite incluir tensiones multiaxiales y flexión rotativa para verificar los cálculos. (Universidad Católica Argentina. 2008).

### **3.2.4. Resistencia a la deformación.**

Los aros deben ser capaces de mantener su forma incluso en circunstancias críticas. Los métodos de simulación numérica son cada vez más utilizados para el diseño de los aros en la prueba de resistencia a los impactos. Sin embargo, estas pruebas se llevan aún a cabo experimentalmente para comprobar la resistencia a colisiones, tales como impactos con pavimentos. (Guerrero, J. 2008).

Además de las características mecánicas, también hay otras consideraciones de diseño importantes:

### **3.2.5. Aspectos térmicos.**

Independientemente del tipo de aro (fundido, forjado, mezcla de forja y fundición, etc.) el aluminio actúa como un disipador de calor muy eficaz. Esto resulta en una eficiencia de frenado, y un menor riesgo de sobrecalentamiento de los neumáticos.

### **3.2.6. El estilo y el potencial de ahorro de peso.**

La reducción del peso de la masa no suspendida de vehículos es una prioridad clave en cualquier consideración de diseño. Por otra parte, los aspectos de estilo en general son un factor decisivo para la elección de un aro de aluminio. Por lo tanto lo que se busca es optimizar el diseño de modo de conseguir máxima resistencia estructural con máxima reducción de peso y un diseño que sea atractivo. (Bosch, R. 2005)

### **3.2.7. Tolerancias dimensionales.**

Un balance de masa perfecto es un parámetro clave para evitar vibraciones significativas de la rueda. Como resultado, tanto aros fundidos como aros de aluminio forjado son finalmente mecanizados. En comparación con los aros de acero, el peso más bajo de las ruedas de chapa de aluminio también reduce la intensidad de las vibraciones.

### **3.2.8. Resistencia a la corrosión.**

Hay varias opciones de tratamientos superficiales para aros de aluminio que ofrecen diferentes cualidades y beneficios. Requisitos de durabilidad y mantenimiento que se deben considerar al elegir una superficie de la rueda como se observa en la Figura 3.1 "Tratamiento de la superficie". (Saint Jean Wheels. 2015).

Producción tecnológica.	Peso (relativo).	Costos (relativos).	El estilo de potencial.	Compat freno.	Uniformidad Dimensional.	Resistencia al daño.	Resistencia a la corrosión.
Rueda de acero (en hojas, soldado).	1.0	1.0					
Fundición de aluminio (clásica).	0.75 - 0.85	4.5					
Fundición de aluminio (w. radios huecos).	0.70	13.0					
Aluminio (en hojas, soldado)	0.65 - 0.75	3.3					
Aluminio forjado (clásica).	0.60 - 0.80	10.0					
Forjado de la rueda ligera de aluminio.	0.60 - 0.75	4.0					
Magnesio fundido	0.60 - 0.75	16.0					

Fuente: Otto-Fuchs Metallwerke, Meinerzhagen, 1996

Figura 3.1 Tratamiento de superficies.

### 3.3. Aros de aleación de aluminio.

La principal ventaja de los aros de aleación de aluminio es la gran versatilidad de estilo, ofrecen una alta precisión dimensional y las características mecánicas estáticas y dinámicas adecuadas. Una razón importante para elegir estos aros es su atractivo aspecto visual. El potencial de reducción de peso en comparación con ruedas de acero es una ventaja.

#### 3.3.1. Procedimientos de Fundición.

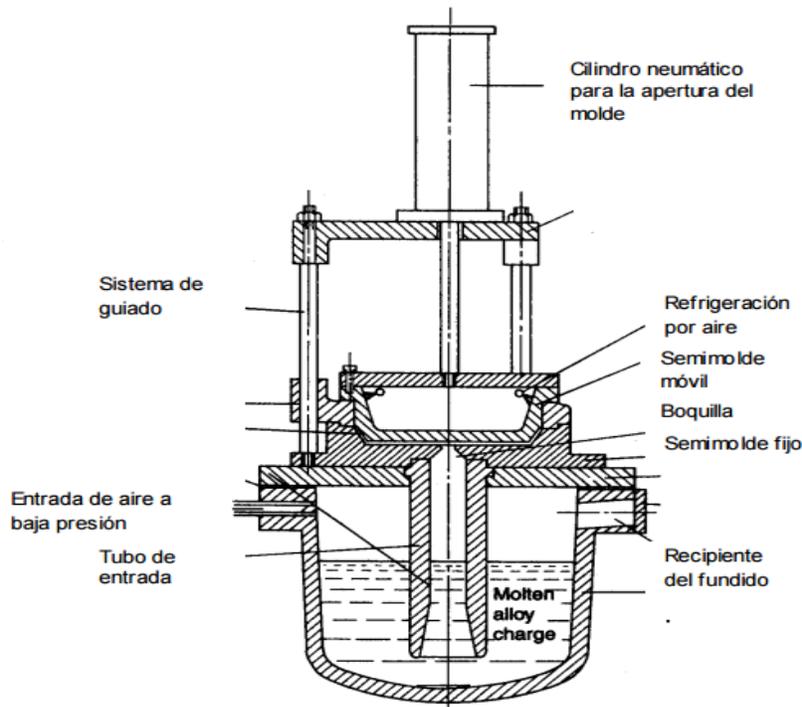
Los métodos de fundición de alta productividad se aplican principalmente para la producción de aros de aluminio que serán usados en automóviles de fabricación en serie. Dependiendo del proceso de colada aplicada, la calidad de los aros de fundición de aluminio varía. La selección de los métodos de fundición específicos determina la calidad de la microestructura de colada (por ejemplo, porosidad) e influye en la elección de los tipos aplicables de aleaciones y tratamientos térmicos. Por lo tanto, determina no sólo la resistencia y durabilidad del aro, sino que también afecta el nivel de calidad que se puede alcanzar en los diversos pasos de preparación de superficie y por lo tanto la apariencia final.

En consecuencia, la selección de los métodos de fundición óptima depende de muchos factores diferentes.

Los principales procesos de fundición usados para la producción de aros de aluminio son:

**3.3.1.1. De baja presión de fundición a presión.**

Entre los procesos de fundición innovadora y convencional para aleaciones de aluminio, baja presión de fundición se caracteriza por varias ventajas, incluyendo un alto rendimiento, excelente control de los parámetros operativos, buena calidad metalúrgica y tecnológica. Este proceso es a menudo asociado sólo a la producción de aros de automóviles, mientras que está mejorando su potencial tanto hacia otros componentes de automóviles y partes no automotrices. En la figura 3.2 se puede visualizar el esquema general de este proceso. (Bonollo, F. Urban, J. Bonatto, B. Botter, M. 2005).

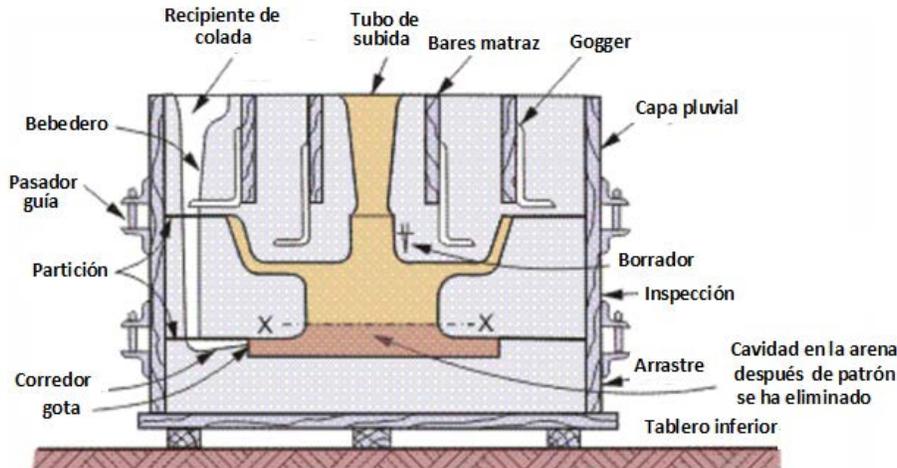


Fuente: Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark, 2005

Figura 3.2 Esquema general del proceso de fundición a baja presión. Trabajando en secuencia el proceso HPDC

### 3.3.1.2. La gravedad de fundición en molde permanente.

En la producción de piezas moldeadas con forma, un metal fundido o aleación de composición deseada se vierte en un molde o matriz, que contiene una cavidad en forma de componente para ser echada. El material fundido es transportado en la cavidad a través de un sistema de llenado. Junto a la fundición a la frecuencia en el punto o puntos (puertas) en el que el sistema de llenado entra en la cavidad de moldeo, se colocan cavidades adicionales llamados elevadores o alimentadores, cuyo objeto es proporcionar un depósito de metal fundido. La función de estos depósitos es para compensar la contracción. (La mayoría de las aleaciones de contracción durante la solidificación, de fundición gris y el tipo de metales que son notables excepciones). En la figura 3.3 se ilustra el proceso de gravedad de fundición en molde permanente. (Berry J. 2015).

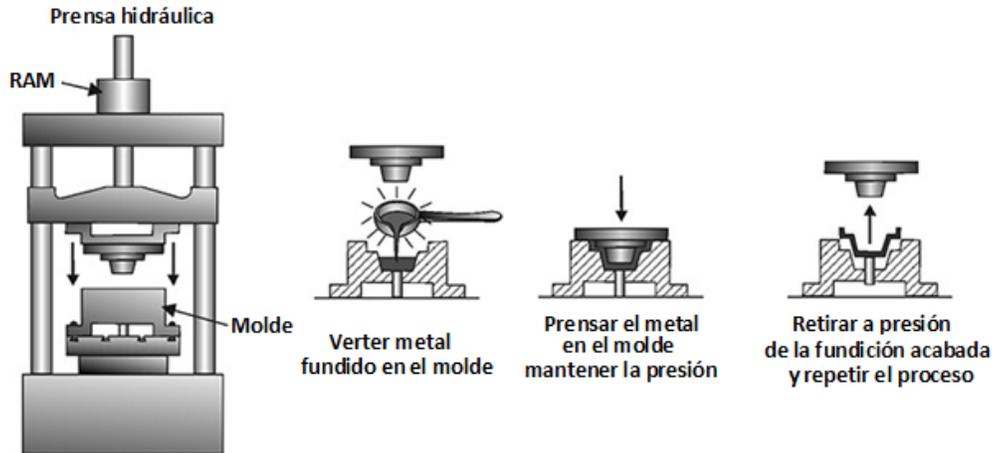


Fuente: CASTING OF METALS, 2015

Figura 3.3 Proceso de gravedad de fundición en molde permanente.

### 3.3.1.3. Proceso de fundición a presión y apriete

Combinación de fundición y forja. El metal fundido llena un molde precalentado desde el fondo y durante la solidificación de la mitad superior del molde se aplica una alta presión para comprimir el material en la forma deseada final. También conocida como la forja y fundición de metal líquido presión de carga figura 3.4. (Mechanicatech. 2014)



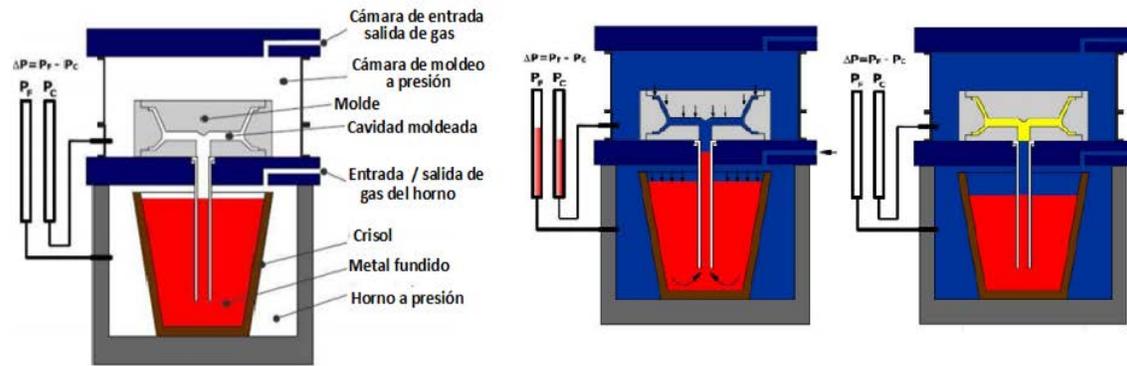
Fuente: SQUEEZE CASTING, 2014.

Figura 3.4 Esquema del proceso de fundición a presión y apriete.

#### 3.3.1.4. Fundición contra-presión de gas (CPC)

La principal ventaja de este método consiste en la regulación precisa de la presión del gas como tercer parámetro termodinámico para el control del proceso de colada. Estas características determinaron su rápido progreso en la investigación, diseño y respeto tecnológico.

En la figura 3.5 se puede apreciar las máquinas para la fundición de contrapresión de gas que consisten en dos cámaras - una para el fundido de metal y una para el molde de fundición. La principal diferencia de los otros métodos es que cuando se llena el molde el metal ascendente se enfrenta a la presión del gas aplicado de antemano en el molde. Con el CPC, la cavidad de colada se coloca totalmente dentro de una cámara de presión. Al cierre de la cavidad de colada, la fundición de cámara y la cámara del horno están a presiones iguales. La presión en la cámara de colada se agota lentamente mientras que la presión en el horno de fundición se incrementa. Esto permite que el metal se eleve en los tubos de llenado y en la cavidad de colada en una velocidad controlada. La solidificación se controla direccionalmente a través de enfriamiento secuencial, tal como el llenado a presión y su intensificación se controla para dar el máximo de alimentación en las regiones propensas a la contracción de la pieza fundida. (Metal Technology. 2015)



Fuente: Metal technology group, 2014

Figura 3.5 Esquema del proceso de fundición contra-presión de gas.

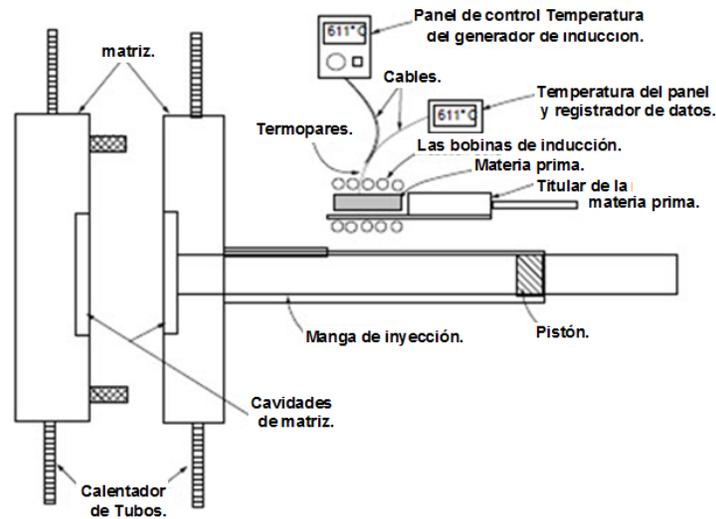
### 3.3.1.5. Fundición de forja (Cobapress)

COBAPRESS es un proceso de fundición / forja utilizado principalmente para la producción de piezas de aluminio en la industria del automóvil. Este método de procesamiento es atractivo, ya que tiene un potencial de mejorar las propiedades mecánicas de las piezas de fundición con un costo reducido en comparación con el proceso de forja. Antes de forjar, la preforma se homogeneiza en temperatura en un horno y da como resultado el cierre de defectos de fundición, tales como la contracción o desgasificación porosidades. Mientras permanece caliente la deformación de la microestructura de las aleaciones de aluminio evoluciona y un sub-estructuración granos primarios. Los troqueles utilizados durante la etapa de forja son pulidas, resultante en una reducción de la aspereza de la piel de las partes que es bueno para las propiedades de fatiga. (Perrier, F. Desrayaud, C. Bouvier, V. 2012)

### 3.3.1.6. Thixomoldeo.

Permite la formación de aleaciones en productos conformados con mejores características mecánicas y estéticas a producir. Procesamiento de metal semisólido ofrece varias ventajas sobre las tecnologías convencionales, tales como la fundición, forja y metalurgia de polvos. El proceso utiliza agitación de la masa fundida durante la solidificación de una barra de colada continua para obtener la microestructura globulítica. Tiene una temperatura de formación inferior, vida significativamente más larga, alta precisión, eficiencia de la

producción y las propiedades mecánicas completas. En comparación con las tecnologías de forjado en caliente, thixomoldeo tiene absolutamente un límite de elasticidad baja, alta fluidez, formando una carga baja y baja rugosidad de la superficie. Figura 3.6. (Total Materia. 2013)



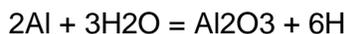
Fuente: Total materia, 2013

Figura 3.6 Esquema del montaje experimental para el proceso de Tixomoldeo.

### 3.3.2. Procesos de desgasificación del aluminio

Los procesos de fabricación de piezas fundidas con aplicaciones tecnológicas críticas deben garantizar la eliminación de todo tipo de porosidades, ya que estas discontinuidades influyen negativamente en las propiedades físicas y mecánicas del material, afectando consecuentemente a la funcionalidad de las piezas. La presencia de estas irregularidades en una determinada zona sometida a esfuerzos mecánicos puede actuar de punto de partida para la formación de otros defectos como son los agrietamientos, los cuales generan roturas de piezas en servicio o el origen de fallos a fatiga.

El aluminio líquido se disuelve activamente en hidrógeno, que se forma como resultado de una reacción química con vapor de agua:



La solubilidad del hidrógeno gaseoso en aluminio líquido en su punto de fusión (1220,7 ° F / 660.4 ° C) es 0,61 in<sup>3</sup> / lb (2,2 cm<sup>3</sup> por 100 g).

La solubilidad del hidrógeno gaseoso cae bruscamente cuando el aluminio se solidifica: aluminio sólido en el punto de fusión contiene sólo 0,014 in<sup>3</sup> / lb (0,05 cm<sup>3</sup> por 100 g).

Por lo tanto las aleaciones de aluminio liberan cantidad excesiva de hidrógeno durante la solidificación. Esto da lugar a defectos de porosidad distribuidos por todo el metal sólido.

Tamaño de los poros de hidrógeno y su cantidad se determina por el contenido inicial de hidrógeno, la composición de la aleación y las condiciones de solidificación.

### **3.3.2.1. Fuentes de hidrógeno en aluminio fundido.**

- Humedad ambiente.
- Carga metálica húmeda.
- Revestimiento del horno húmedo (crisol, cucharones de transferencia).
- Instrumentos de fundición húmedas.
- Flujos húmedos y otros artículos de consumo.
- Productos de la combustión de combustible de horno que contienen hidrógeno.

### **3.3.2.2. Los métodos de estimación de contenido de hidrógeno.**

**Solidificación lenta.** En este método una pequeña porción del aluminio líquido (alrededor de 2 in<sup>3</sup> / 33 cm<sup>3</sup>) se vierte en una cavidad en un ladrillo refractario calentado. La aleación se solidifica lentamente y el hidrógeno liberado se concentra en la parte superior de la pieza fundida en forma de burbujas congelado. Cantidad de las burbujas de hidrógeno en la superficie de la muestra se determina por la concentración de hidrógeno.

**Método de vacío.** Este método cuantitativo utiliza solidificación de una porción de muestra de la aleación de aluminio en un pequeño crisol a baja presión. El hidrógeno disuelto en la aleación comienza a formar una fase gaseosa (una burbuja) a una cierta presión. Cuando

se forma la primera burbuja se miden tanto la presión y la temperatura. Estos parámetros se utilizan para la determinación del contenido de hidrógeno por medio de diagramas numéricos.

### **3.3.2.3. Desgasificación por flujos.**

Fundentes que contienen compuestos de sales de cloro y flúor se utilizan para desgasificar aleaciones de aluminio. La operación inicia cuando una tableta de flujo se sumerge por una campana perforada precalentado a la parte inferior del horno. Los componentes de flujo reaccionan con la formación de compuestos gaseosos de aluminio (cloruro de aluminio, fluoruro de aluminio). El gas está en ebullición y se levanta a través de la masa fundida. La presión parcial de hidrógeno en las burbujas formadas es muy bajo, por tanto, se propaga. Las burbujas se escapan de la masa fundida y se retira el gas. El proceso continúa hasta que el burbujeo cesa.

### **3.3.2.4. Desgasificación Giratoria.**

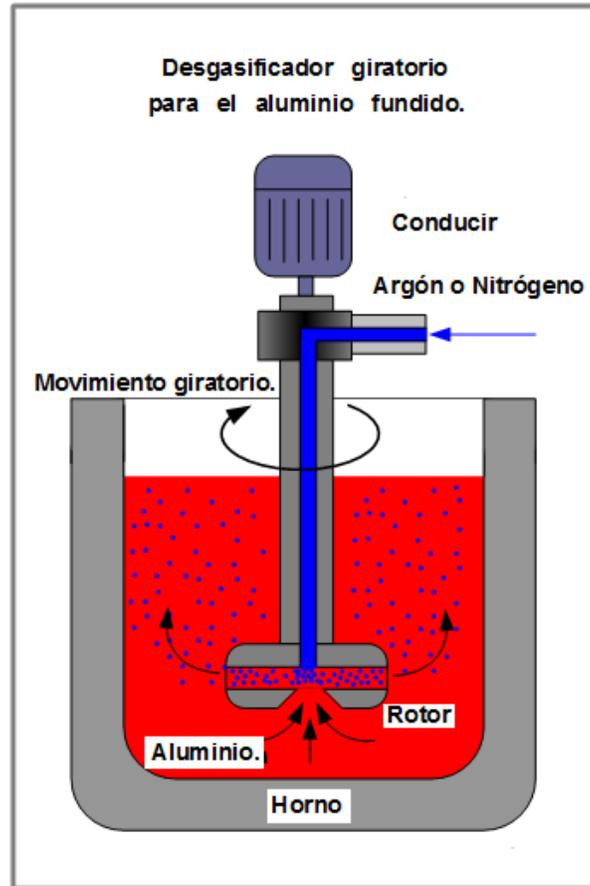
En un desgasificador giratorio se usan generalmente dos tipos de gases los cuales son:

**Nitrógeno.** Gas incoloro, no corrosivo y no inflamable, es inerte excepto cuando es calentado a muy altas temperaturas. Como es un gas no corrosivo, no se requieren materiales especiales para su almacenamiento y control. El Nitrógeno ha sido usado como desgasificante con buenos resultados, su costo es inferior al del Argón, pero los tiempos de desgasificación son más prolongados y consecuentemente se reducen los niveles de producción, aumentando los costos de energía.

**Argón.** Gas monoatómico, incoloro, inodoro, no corrosivo y no inflamable. El Argón no reacciona con ningún elemento ni compuesto, no requiere tanques de almacenamiento ni equipos de control de flujo especiales. Su eficiencia como desgasificante es muy alta y su emisión de contaminantes es nula; la remoción de Hidrógeno es mayor y los tiempos de desgasificación son menores que con Nitrógeno.

En el método de desgasificación giratorio un gas inerte o químicamente inactivo (argón, nitrógeno) se purga a través de un eje de rotación y el rotor como se muestra en la figura

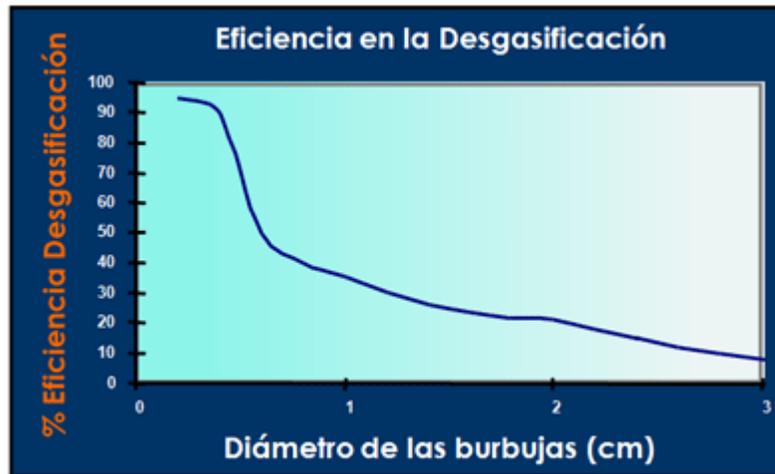
3.7. La energía del eje de rotación provoca la formación de un gran número de burbujas finas proporcionando área a muy alta relación superficie volumen, lo cual promueve la difusión rápida y eficaz de hidrógeno en las burbujas de gas resultantes en la igualación de la actividad del hidrógeno en fases líquida y gaseosa, este método permite lograr la eliminación de hidrógeno más completa en comparación con el de desgasificación de flujo. Además no utiliza cloro dañino y sales que contienen flúor, también puede combinar las funciones de desgasificación y la introducción de flujo.



Fuente: Tratamiento de desgasificación de aleaciones de aluminio fundido, 2013.

Figura 3.7 Desgasificador giratorio para el aluminio fundido.

Uno de los parámetros más importantes de la desgasificación del aluminio que determina el grado de la eficiencia en la desgasificación, es el tamaño de la burbuja inyectada; cuando el tamaño de la burbuja es grande la desgasificación resulta inadecuada. La Figura 3.8 muestra el efecto del tamaño de la burbuja en la eficiencia del desgasificado. Otros factores importantes son: el suministro de un número suficiente de burbujas y la protección de la superficie del metal líquido para evitar la reabsorción del Hidrógeno.



Fuente: Defectos metalúrgicos generados por la presencia de gases en el metal fundido, 2008

Figura 3.8 Eficiencia en la desgasificación.

### 3.3.3. Aleaciones de colado y el tratamiento

Las aleaciones empleadas tienen que aportar con las siguientes propiedades:

- Buenas características de fundición utilizando moldes metálicos (excelente llenado del molde, sin adherencia, poca susceptibilidad a la rotura caliente y contracción)
- La capacidad fuerte para resistir el impacto físico (ductilidad, resistencia al impacto)
- Excelente resistencia a la corrosión (en atmósferas normales y salina)
- Alta resistencia a la fatiga

Estos requisitos han conducido al uso generalizado de aleaciones de fundición de Al-Si hipoeutéctica con un contenido de silicio de 7 a 12%, Figura 3.9, variando los niveles de magnesio, así como bajo contenido de hierro y otras concentraciones de impurezas menores. (The aluminum automotive manual. 2011).



Fuente: Borbet, 2010.

Figura 3.9 AlSi 11 mg rueda fundida, sin tratamiento térmico.

Hasta 1980, no se pueden tratar térmicamente, aleaciones eutécticas AlSi11Mg con 11 - 12% de Si se utilizan especialmente en Alemania e Italia. Estos tipos de aleaciones muestran muy buenas características de fundición, específicamente con respecto al llenado del molde y el comportamiento de contracción.

Hoy en día, AlSi7Mg0.3 (Al 356) modificado con estroncio es la aleación de aluminio de fundición estándar que se utiliza para los aros. La ventaja de la AlSi7Mg0.3 aleación es, sin embargo, su capacidad de tratamiento térmico y por lo tanto la capacidad de cumplir los requisitos técnicos cada vez mayores en las ruedas. En América del Norte y Japón, se utilizó esta aleación exclusivamente desde el principio en el tratado con calor térmico T6. (The aluminum automotive manual. 2011).

### **3.3.3.1. Aluminio y sus aleaciones.**

Las aleaciones de aluminio son ampliamente usadas a nivel industrial por lo tanto es importante conocer su clasificación, estados y designaciones más comunes:

### **3.3.3.1.1. Clasificación por su estado**

**F:** Estado bruto. Es el material tal como sale del proceso de fabricación.

**O:** Recocido. Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo.

**O1:** Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.

**O2:** Sometido a tratamiento termo-mecánico.

**O3:** Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambrones y a las bandas de colada continua, que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura.

**W:** Solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.

**H:** Estado de Acritud. Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.

**H1.** Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.

**H2.** Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial, para recuperar suavidad sin perder ductilidad.

**H3.** Acritud y estabilizado.

**H4.** Acritud y lacado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura.

**T:** Denomina a materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior.

**T1:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.

**T2:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.

**T3:** Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.

**T4:** Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.

**T5:** Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.

**T6:** Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura no son endurecidos en frío sino que sufren un envejecimiento artificial.

**T7:** Solución tratada térmicamente y sobre envejecida para su completa estabilización.

**T8:** Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.

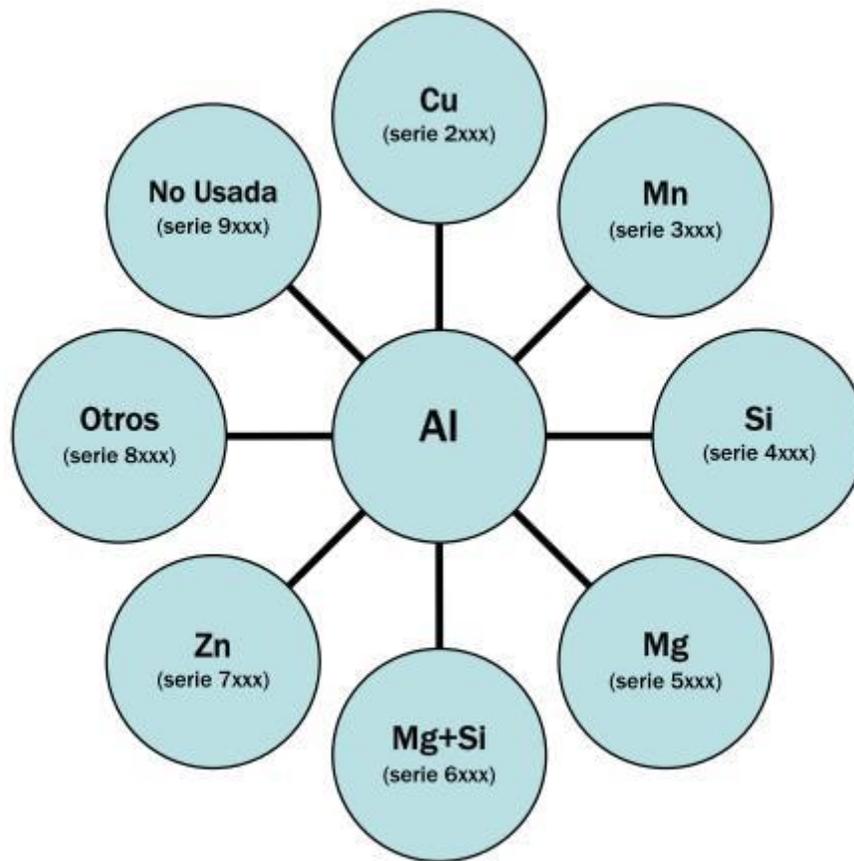
**T9:** Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.

**T10:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

Existen variantes del estado T, a estas variantes se les añaden a la T dos dígitos. Estos dos dígitos son específicos para cada producto y se usan para estado de alivio de tensiones en productos fabricados mediante el proceso de forja.

#### **3.3.3.1.2. Serie del aluminio según su aleación.**

Las aleaciones de aluminio tanto las forjadas como las de fundición se clasifican en función de los elementos aleantes los más usados son:



Fuente: Borbet, 2010.

Gráfico 3.1 Series de aluminios según AlSi 11 mg rueda fundida, sin tratamiento térmico.

**Serie 1xxx.** Aluminio de 99,00% o mayor pureza tiene un sinnúmero de aplicaciones, especialmente en los campos eléctricos y químicos. Se caracterizan por una excelente resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, bajas propiedades mecánicas.

**Serie 2xxx.** En estas aleaciones el principal elemento es el cobre, con magnesio como un elemento secundario. Las características que tiene esta serie son: buena relación dureza- peso y mala resistencia a la corrosión. Algunas de las aleaciones de esta serie tienen que ser sometidas a solubilidad y a veces de envejecimiento para mejorar sus propiedades mecánicas. Estas aleaciones generalmente son galvanizadas con aluminio de alta pureza o con aleaciones de la serie 6xxx para protegerlas de la corrosión.

**Serie 3xxx.** En estas aleaciones el principal elemento es el manganeso. Estas aleaciones tan solo tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro (serie 1xxx). Eso es porque el manganeso solo puede añadirse solo un 1.5%.

**Serie 4xxx.** El principal elemento es el silicio, que se puede añadir en cantidades medianamente elevadas (por encima del 12%). Se obtiene una aleación que se funde a una temperatura más baja que el resto de aleaciones de aluminio. Estas aleaciones en principio no son tratables térmicamente pero si son usadas en soldadura para ensamblar otras aleaciones que son tratables térmicamente.

**Serie 5xxx.** Esta serie usa como principal elemento el magnesio y a veces se añaden pequeñas cantidades de manganeso cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio. Las principales características son una alta dureza, buena soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y una baja capacidad de trabajo en frío.

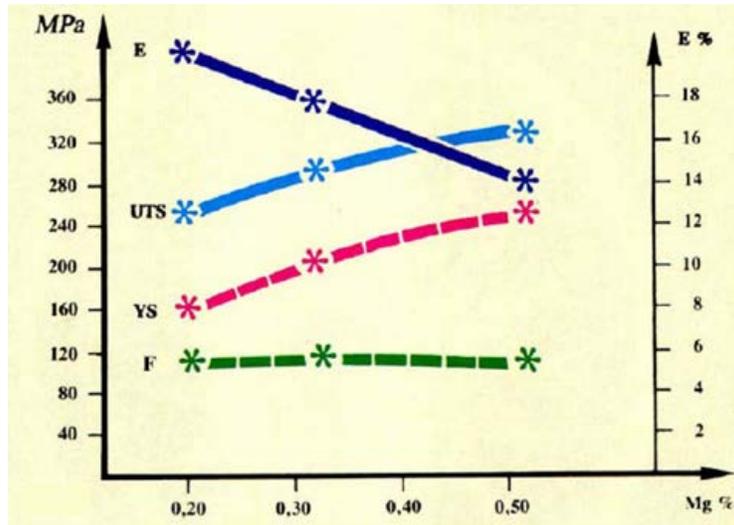
**Serie 6xxx.** En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el magnesio y el silicio. Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Esta aleación es menos resistente que el resto de aleaciones, sus principales características son la formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión.

**Serie 7xxx.** El zinc es el principal elemento puede ser añadido en proporciones que van desde el 1 al 8 %. A veces se añaden pequeñas cantidades de magnesio para hacer la aleación sea tratable térmicamente. También es normal añadir otros elementos aleantes como cobre o cromo en pequeñas cantidades. La principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza.

### **3.3.4 Características mecánicas de aros tratados térmicamente**

En la figura 3.10 se muestra las propiedades mecánicas estáticas y la resistencia a la fatiga de la aleación primaria AlSi7Mg en el temple T6 y diversos contenidos de Mg. Las características del material se midieron en probetas representativas. En todos los casos, la aleación fue modificada con Sodio. Los resultados muestran claramente que la aleación AlSi7Mg0.3 ofrece mejores características de resistencia a la fatiga y alargamiento. Un aumento en el contenido de magnesio no mejora claramente resistencia a la fatiga, pero

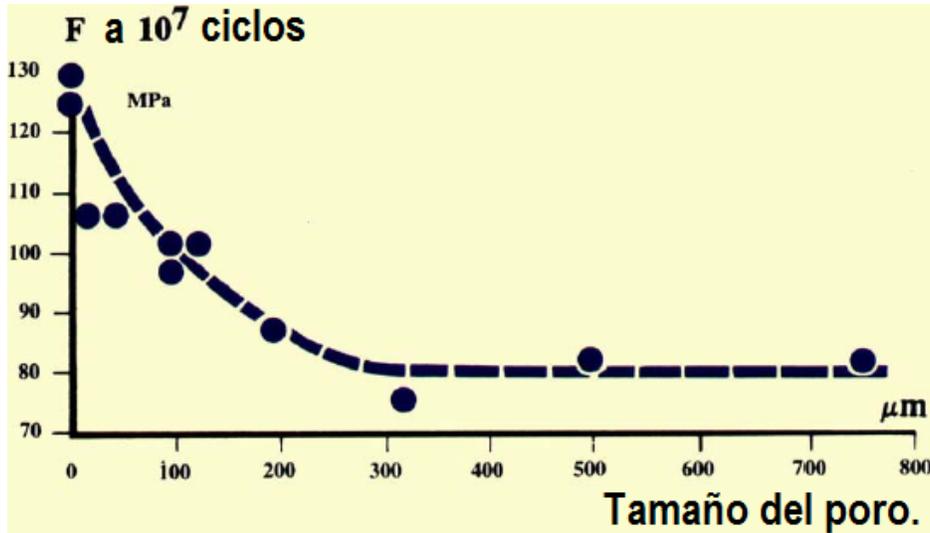
reduce significativamente la elongación. La misma investigación se ha llevado a cabo con diferentes contenidos de silicio. Se demostró claramente que un aumento en el contenido de Si tiene un efecto adverso en la ductilidad, particularmente a bajas tasas de solidificación. Sin embargo, las aleaciones con 9-11% de Si todavía son aceptables. (The aluminum automotive manual. 2011).



Fuente: Applications – Chassis & Suspension – Wheels, 2011

Gráfico 3.2 Propiedades estáticas de resistencia, fatiga y elongación.

Además, se midió el límite de fatiga para el molde permanente especímenes (P.M.) de prueba fundido (ensayos de flexión de rotación). La aleación era una, AlSi7Mg0.3 tratada térmicamente modificado-Na. exámenes micrográficos indican una estrecha correlación entre el límite de fatiga y el tamaño máximo de poro en las muestras de ensayo. Los resultados se indican en la figura 3.11. (The aluminum automotive manual. 2011).



Fuente: Applications – Chassis & Suspension – Wheels, 2011

Gráfico 3.3 Límite de fatiga para una aleación de fundición primaria AlSi7Mg-T6.

### 3.4. Aros forjados

Los aros de aluminio forjado son ruedas de una sola pieza conformadas a partir de un lingote (bloque único de metal) el mismo que es forjado en caliente, este proceso permite flexibilidad en el diseño. Se considera superior a otras formas de fabricación de aros en cuanto a resistencia a la rotura y a la disminución de peso en relación a aros fundidos, aros de múltiples piezas de aluminio y aros de acero.

#### 3.4.1 Características generales y ejemplos

El proceso de forjado permite la plena explotación de las propiedades del material en términos de:

- Propiedades mecánicas
- Tenacidad
- Resistencia a la fatiga.

Los aros forjados están libres de porosidad y cavidades, lo que significa una mayor seguridad. También ofrecen una mayor variedad de acabados de superficie aplicable de llantas de aleación figura 3.10.



Fuente: Otto Fuchs, 2015

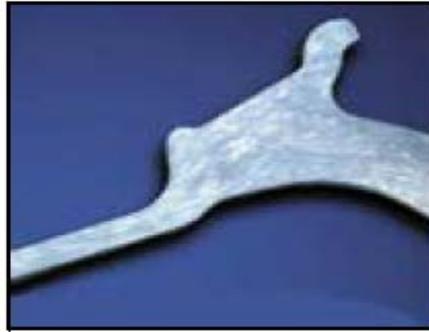
Figura 3.10 Aros forjados ofrecen una variedad de variantes de diseño.

### 3.4.2 Aspectos de los materiales

Las aleaciones estándar utilizados para llantas de aluminio forjado son las aleaciones forjadas de calor tratables del sistema AlMgSi, en particular:

- EN AW- $\text{AlSi1MgMn}$  (6082) en Europa,
- AA 6061 ( $\text{AlSiMgCu}$ ) en América del Norte.

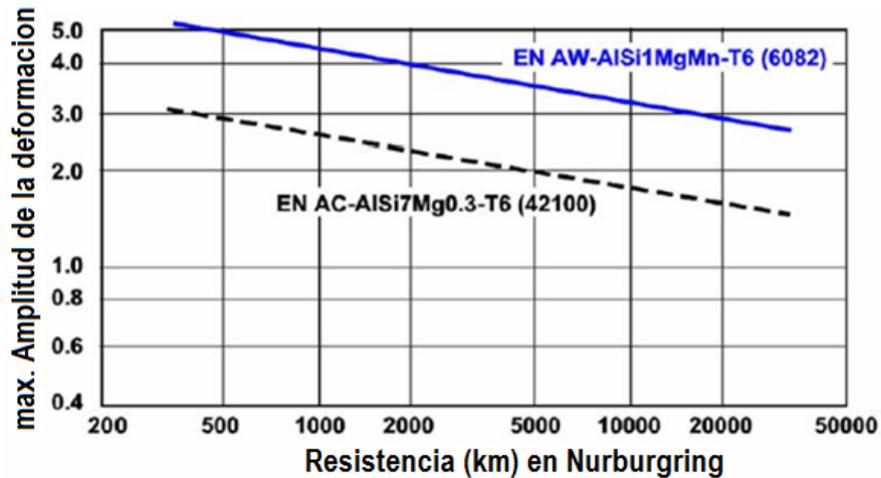
El proceso de forja alinea la microestructura del metal de aluminio a lo largo de la dirección del flujo del material, figura 3.11, lo que permite la explotación completa de las características de resistencia y tenacidad de la aleación. (The aluminum automotive manual. 2011).



Fuente: Alcoa, 2015

Figura 3.11 Forja alinea la estructura de grano del aluminio con la forma de la rueda.

Los aros de aleación son fabricados con las mismas especificaciones de carga y durabilidad que la de los aros forjados. En comparación con aros de aluminio fundido, los componentes forjados presentan una resistencia a la fatiga más alta debido a la ausencia de porosidad y la presencia de una microestructura fina, homogénea, gráfico 3.4. (The aluminum automotive manual. 2011).



Fuente: Otto Fuchs, 2011

Gráfico 3.4 Resistencia a la fatiga de forjado AlSi1MgMn T6 y LPDC AlSi7Mg0.3-T6.

### 3.5 Acabado superficial

Los aros moldeados y forjados son a menudo pintados o pulidos y barnizados con una capa transparente después de un tratamiento superficial de conversión química. Pero, en

particular, ruedas forjadas pueden ser sometidas a una amplia gama de tratamientos superficiales alternativos.

Ejemplos de opciones específicas de la superficie se describen a continuación:

- Tratamiento superficial tecnología patentada Dura-Bright® de Dura-Bright® tecnología de Alcoa se ha ofrecido en el mercado de vehículos comerciales desde 2003. Durante el ciclo de calor, el polvo y la suciedad pueden penetrar la laca para crear una coloración amarilla o manchas negras que no se pueden eliminar. Por el contrario, la tecnología Dura-Bright® penetra en la superficie de la rueda para convertirse en una parte integral. Resiste el pelado, agrietamiento y corrosión al tiempo que ofrece un acabado de primera calidad.
- Aro cromado proporciona una apariencia similar a un espejo para complementar el aspecto de muchos de los vehículos actuales. acabado cromado también ofrece beneficios de mantenimiento con cierta facilidad de lavado. Sin embargo, la atención debe prestar especial atención a la durabilidad en condiciones de todo terreno o de conducción en invierno.
- Aro con terminación de capa transparente pulida es un proceso de acabado superficial de dos pasos se utiliza para desarrollar ruedas de recubrimiento transparente pulido. En primer lugar, el aro forjado se pule dando aspecto liso y atractivo. A continuación, se aplica una capa transparente de alta calidad para proteger el aluminio, las ruedas de recubrimiento transparente pulido proporcionan durabilidad adicional y facilidad de mantenimiento. Una rueda de capa transparente ofrece una apariencia similar a una rueda de aluminio pulido.

### **3.6. Proceso de producción.**

Luego de analizar todos los métodos de producción de aros el mejor proceso para la fabricación es el forjado. Este, mediante el uso de fuerza hace pasar un lingote de aluminio a través de cavidades, obteniendo un producto final bastante denso, fuerte y al mismo tiempo liviano.

A continuación se detalla cada una de las actividades de la línea de producción por este método.

### 3.6.1 Recepción de materia prima

En esta actividad se revisa la documentación de las especificaciones técnicas de aluminio 6061 T6 que es la materia prima para la producción de aros, las mismas que se detallan en la figura 3.21, el departamento encargado de esta fase es Control de calidad. Una vez superado esta etapa será denominada como barra redonda de aluminio

#### Specifications

Place of Origin:	Shandong, China (Mainland)	Brand Name:	HONESTY ALUMINUM	Model Number:	6061
Application:	aircraft structures,	Surface Treat...:	Mill Finish	Shape:	Round
Technique:	Extruded	Dimensions:	1	Grade:	6000 Series
Hardness:	99-200	Alloy Or Not:	Is Alloy	Al (Min):	90%
Yield ( $\geq$ MPa):	276	Temper:	T3 - T8	Ultimate Stren...:	310
Length:	0mm~6000mm	Outer Diameter:	8mm~125mm	Wall Thickness:	2mm~25mm
Color:	natural	Delivery Detail:	10-15 Days		

Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/6061-T4-T6-Alloy-Round-Bar\\_60369916604.html?s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/6061-T4-T6-Alloy-Round-Bar_60369916604.html?s=p)

Gráfico 3.5 Especificaciones Técnica aluminio 6061 T6.

### 3.6.2 Inspección

La barra redonda de aluminio será sometida a una inspección de sus dimensiones las cuales son 6000mm de largo por 260 mm de diámetro, el departamento a cargo de esta actividad es Control de calidad, de no cumplir con las dimensiones la barra será devuelta al proveedor caso contrario pasara a la siguiente fase con el nombre de barra estándar. En la figura 3.12 se puede observar las barras de aluminio.



Fuente: Chongqing Huanyu Aluminum Material Co., Ltd, 2016.

Figura 3.12 Almacenamiento de las barras de aluminio.

### 3.6.3 Corte

Para obtener una máxima resistencia en los aros, se los tornea de una única pieza de aluminio, el mismo puede absorber hasta el doble de energía de choque del acero. Con una hoja de carburo se debe cortar la barra estándar cada 300mm de esta forma se consigue lingotes de 13 kg aproximadamente, cada lingote sirve para hacer un aro y se obtiene 20 lingotes de cada barra. El departamento encargado de esta etapa es corte, el equipo necesario es una sierra de cinta marca DANOBAT como se muestra en la figura 3.13 la misma tiene las siguientes características:

Tecnología de cinta

Material a cortar acero y acero inoxidable

Otras características para carga pesada, horizontal, automática, de gran formato.



Fuente: Directindustry, danobatgroup, 2016

Figura 3.13 Sierra de cinta DANOBAT

Las sierras de cinta horizontal de grandes dimensiones de esta marca han sido concebidas para obtener el mejor rendimiento de productividad y vida de cinta.

Estas sierras de cinta están enfocadas para el corte de materiales de difícil mecanizado tales como inconel, hastelloy, titanio, inoxidable, aluminio, etc., así como todo tipo de aceros

teniendo en cuenta las necesidades de rigidez y dureza para el corte de este tipo de materiales. En la figura se 3.14 se observa los lingotes cortados.



Fuente: CTA fabrica Rines (aros) de Aluminio para la industria automotriz, 2016

Figura 3.14 Lingotes de aluminio

### 3.6.4 Calentamiento.

Los lingotes ya cortados son transportados a un horno marca PYRADIA modelo EDQ 036036042 en donde permanecen por un lapso de dos horas hasta llegar a los 480°C, como se observa en la figura 3.15, así el aluminio se ablanda y es posible forjarlo sin derretirlo, el departamento Térmico es el responsable de esta actividad. Al final de esta fase se lo considera como lingote maleable.



Fuente: Pyradia industry, 2016

Figura 3.15 Horno marca PYRADIA.

Este tipo de hornos se utiliza para tratamientos térmicos de piezas de aluminio T4 y T6. Las características principales de este modelo de horno se describen a continuación:

Uniformidad de la temperatura de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  a cualquier temperatura de  $150^{\circ}\text{C}$  a  $650^{\circ}\text{C}$

Opción de tiempo de Temple en menos de 5, 7, 10 y 15s

Calefacción de gas o eléctrica

Capacidad de carga hasta 2 000 libras (900 kilogramos) para los modelos estándar.

### **3.6.5 Prensado**

El proceso automatizado traslada el lingote maleable a una máquina marca DENN modelo RF-550/2, de forja rotativa la misma que presiona dentro de un disco delgado, permitiendo obtener final de este proceso un disco de aluminio. En la figura 3.16 se muestra el equipo necesario en esta fase.

Las máquinas de forja de rotacionales, comparadas con los de forja tradicional, requieren una menor inversión en herramientas y maquinaria para sus usuarios. Otros beneficios incluyen un mejor acabado, mayor precisión y menor costo energético. A continuación se detallan las características del equipo:

Presión máxima aplicada: 550 Tn.

Diámetro máximo: 700 mm

Altura máxima: 400 mm

Máxima altura de pieza de trabajo: 350 mm



Fuente: Denn Innovation and Experience in metalforming, 2016

Figura 3.16 Máquina de prensado DENN.

La presión aplicada sobre el lingote maleable en esta etapa es de hasta 550 toneladas, la temperatura y la presión no solo dan forma al aluminio sino que también reajusta las moléculas en un patrón circular compacto, esta nueva distribución molecular le proporciona fuerza y durabilidad, como se observa en la figura 3.27. El departamento responsable de esta fase es el de prensa.



Fuente: CTA fabrica Rines (aros) de Aluminio para la industria automotriz, 2016

Figura 3.17 Prensado del lingote.

### 3.6.6 Enfriamiento

El departamento térmico se encargara de monitorear el disco de aluminio hasta alcanzar la temperatura ambiente denominando al mismo como disco homogenizado y transportándolo hasta la máquina de moldeo en frio.

### 3.6.7 Moldeado

El disco homogenizado se apoya en una matriz, en donde unos rodillos extienden el disco hasta formar el aro, un refrigerante reduce la fricción y en solo 46 segundos toma la forma deseada. El departamento de moldeo utiliza una maquina marca DENN modelo LW3-180 CNC la misma que se ilustra en la figura 3.18.



Fuente: Denn Innovation and Experience in metalforming, 2016

Figura 3.18 Máquina de moldeo DENN.

Las características principales de este dispositivo se detallan a continuación:

Diámetro Máximo del blanco: 22"

Diámetro Mínimo del blanco: 12"

Longitud. Máxima: 14"

Numero de rodillos 3

De esta forma un aro base como se muestra la figura 3.19. El peso de un aro forjado se puede reducir hasta en 30 - 40 % con respecto a un aro fundido, llegando a durezas de 72-86 Brinell sin ser frágiles.



Fuente: Fábrica de BBS Japan Co. Ltd,2016

Figura 3.19 Conformación del aro base.

### **3.6.8 Cocido**

El aro base es transportado a un horno donde se lo calienta hasta alcanzar los 630°C, esta fase es monitoreada por el departamento térmico al final de esta actividad se consigue un aro cocido.

### **3.6.9 Templado**

El aro cocido no se funde solo se calienta para luego templarlo con el fin de nivelar y fortalecer la estructura molecular del material, el departamento térmico lo sumerge en fluido de temple (mezcla de agua, aceite y sales minerales), como se detalla en la figura 3.20, consiguiendo un aro templado que conserva la resistencia y estructura molecular.



Fuente: Fábrica de BBS Japan Co. Ltd,2016  
Figura 3.20 Aros de aluminio en proceso templado.

### 3.6.10 Maquinado

El departamento de CNC es el encargado del proceso de maquinado en el que una herramienta de corte controlada por CNC de cinco ejes marca MAZAK modelo INTEGREGX e-420H, la misma que se ilustra en la figura 3.31.



Fuente:Mazak,USA, 2016  
Figura 3.21 CNC de cinco ejes MAZAK.

El centro de mecanizado multitarea INTEGREGX e-420H es un centro de mecanizado CNC y el centro de torneado vertical, formando la máquina multitarea más avanzada en la industria.

Realiza todas las operaciones con un solo montaje: torneado, fresado, mandrinado, perforado y más. La máquina ofrece precisión y rendimiento para piezas de trabajo del tipo de eje pesado con diámetro grande para una amplia gama de aplicaciones en la industria.

Características de este equipo:

Recorrido de husillo de fresado de - 30 a 210 grados (ángulo de índice mínimo de 0.0001 grados.)

Disponible en 2.5k 40HP y diámetro interior del husillo de 5.2" (opción.)

Soportes estables servo impulsados completamente programables.

Contorno completo del eje C (índice mínimo de .0001 grados.)

De 80 o 120 opciones disponibles del cambiador automático de herramienta.

Esta CNC de cinco ejes mecaniza los bordes y elimina las rebabas del aro, una fresa más pequeña talla un diseño en forma de rayos la cual corresponde a formas estilísticas y funcionales, además de darle la forma, estas aberturas sirven para que el aire circule y enfríe e sistema de frenos, la fresadora también se encarga de hacer los orificios que sujetar el aro al eje. El resultado de esta fase es un aro maquinado, figura 3.22.



Fuente: Fábrica de BBS Japan Co. Ltd,2016

Figura 3.22 Proceso de maquinado.

### **3.6.11 Inspección**

El aro maquinado pasa a una revisión minuciosa para inspeccionar las tolerancias geométricas y dimensionales por parte del departamento de control de calidad, si el aro

está dentro de las tolerancias especificadas en el diseño adquirirá el nombre de aro verificado caso contrario será devuelto al proveedor para su posterior fundición. Como se observa en la figura 3.23



Fuente: Wheels business COBAWHEELS™ technology, 2016

Figura 3.23 Comprobación de los ángulos del aro terminado.

### **3.6.12 Acabado**

El aro verificado pasará al departamento de acabado en donde será pulido o pintado para lograr una superficie brillante luego se los sumerge en un tanque de lavado y los aros están listos para su comercialización.

Los aros moldeados y forjados son a menudo pintados o pulidos y barnizados con una capa transparente después de un tratamiento superficial de conversión química. Pero, en particular, ruedas forjadas pueden ser sometidas a una amplia gama de tratamientos superficiales alternativos.

A continuación en el gráfico 3.6 se ilustra el proceso de producción para aros de aluminio forjados, se muestra el diagrama de flujo, en el cual se manifiesta cada una de las etapas de la línea de producción, además se especifica: aspectos y detalles a considerar, la actividad y el responsable en cada una de las fases.

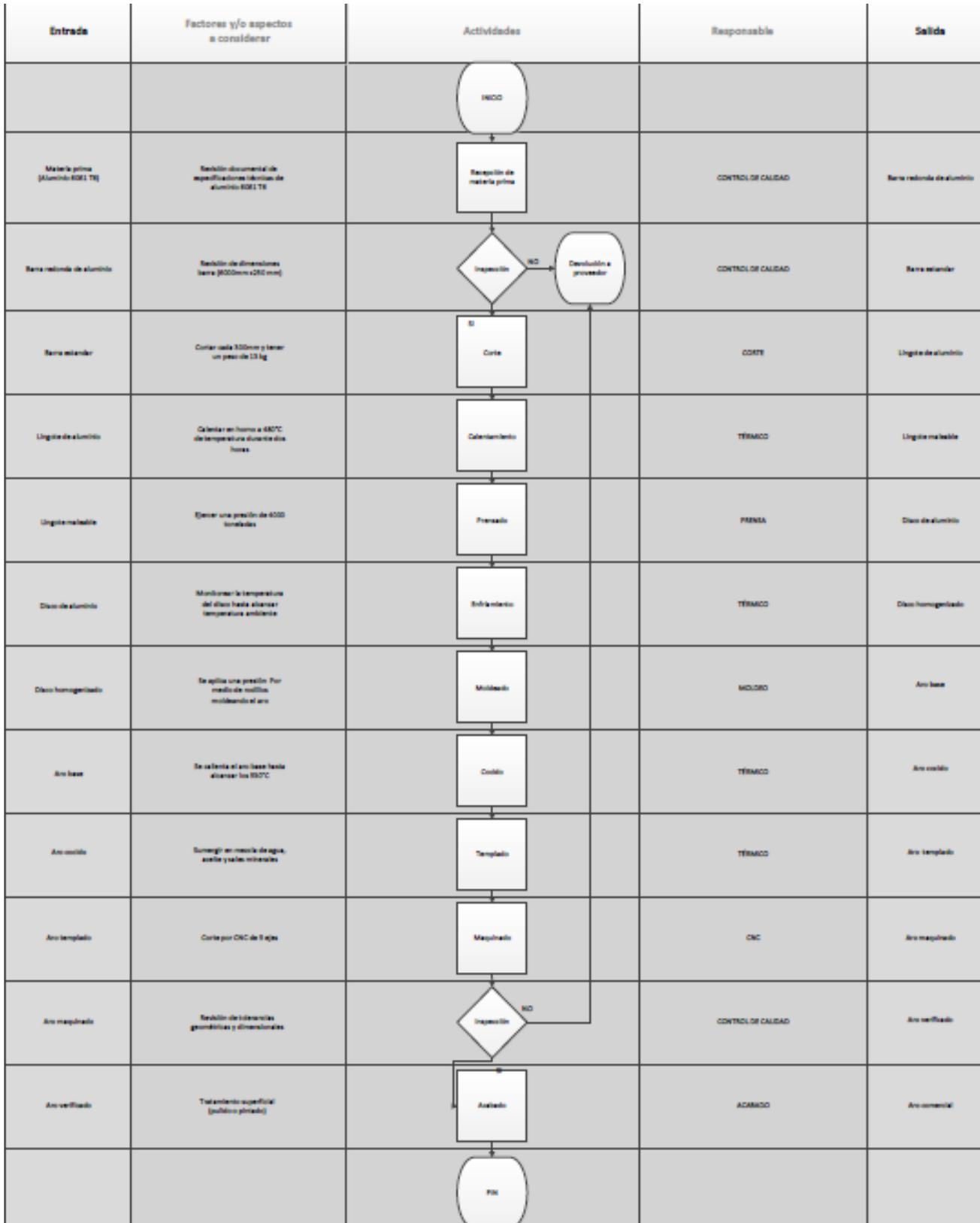


Gráfico 3.6 Flujo de procesos para la producción de aros de aluminio forjados.

### 3.7. Conclusiones.

La incorporación de los aros de aluminio en los vehículos de pasajeros tienen como objetivos la reducción del peso y el incremento de resistencia estructural, por lo tanto al disminuir la masa del aro los costos de producción son menores, este tipo de aros son más amigables con el medio ambiente y permiten que los vehículos sean más eficientes.

Existe varias técnicas para elaborar aros mediante el proceso de fundición, el inconveniente de la producción de aros por este método es que en la fase de verter la colada en el molde se generan burbujas creando poros en la estructura, debido a este inconveniente este tipo de manufactura se encuentra en constante evolución para conseguir productos con mayor calidad mediante técnicas de desgasificación del aluminio.

Los procesos de forjado requieren gran inversión en cuanto a instalaciones, equipo automatizado, maquinarias, personal altamente calificado. Lo que encarece el producto final por lo que únicamente las empresas automotrices de alta gama pueden costear su fabricación para instalarlos en vehículos de producción en serie.

Mientras que el estilo ha sido la principal motivación para las soluciones de fundición, los aros forjados suelen ser más ligeros y resistentes, pero también más costosos. Sin embargo, con la debida atención a la calidad del material y control de procesos, estos aros se pueden hacer a un alto nivel y proporcionan muchos años de buen servicio.

### 3.8. Referencias Bibliográficas.

Barajas, I. Gonzales, E. Solano, J. Villegas, E. (2013). *Prototipo de un rin de materiales compuestos y aluminio*. Instituto Politécnico Nacional México.

Berry J. (2015). *Casting of Metals*. Recuperado de <http://www.thermopedia.com/content/617/> (2016, Marzo 15)

Beyond magazine. (2016). *Maestros de la Forja*. Recuperado de <http://www.lexusauto.es/magazine/issue7/lab/>. (2016, Marzo 02).

Bonollo, F. Urban, J. Bonatto, B. Botter, M. (2005). *Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark*. Italia.

Loaizaga, A. Sertucha, J. Suárez, R. (2008). *Defectos metalúrgicos generados por la presencia de gases en el metal fundido*. Investigación Química. España.

Kopeliovic, D. (2013). *Tratamiento de desgasificación de aleaciones de aluminio fundido*, Recuperado de [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=degassing\\_treatment\\_of\\_molten\\_aluminum\\_alloys](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=degassing_treatment_of_molten_aluminum_alloys). (20 09 2016)

Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket Business Unit Diagnostics. Alemania.

Comercial y Técnica del Aluminio C.A. *El proceso de fabricación*. Recuperado de <http://www.ctawheels.com/proceso/fabricacion.htm>. (2016, Enero 15)

Guerrero, J. (2008). *Diseño y construcción de una máquina enderezadora de aros de autos semiautomática*. Escuela Politécnica Superior de Chimborazo. Ecuador.

Mechanicatech. (2014) *Squeeze casting, process description*. Recuperado de <http://www.mechanicatech.com/Casting/squeezecasting.html>. (2016, Marzo 15)

Metal Technology. (2015) *Counter pressure die casting – General Description*. Recuperado de [http://mtgbg.com/uploads/documents/page/2/Counter\\_pressure\\_die\\_casting.pdf](http://mtgbg.com/uploads/documents/page/2/Counter_pressure_die_casting.pdf). (2016, Marzo 18)

Ortolá, S. (2009) *Ingeniería de los materiales*. Recuperado de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/> (2016, Marzo 08)

Perrier, F. Desrayaud, C. Bouvier, V. (2012) *Microstructural and mechanical evolutions during the forging step of the COBAPRESS, a casting/forging process*. Recuperado de [http://www.st-ji.com/images/stories/publications\\_techniques/proceeding-icaa13-cobapress.pdf](http://www.st-ji.com/images/stories/publications_techniques/proceeding-icaa13-cobapress.pdf). (2016, Marzo 20)

Saint Jean Wheels. (2015). *Complete engineering service provide: Product desing*. Recuperado de [https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/foredrag/2015/stoperifoufebruar2015\\_produksjon-av-hjul-hos-saint-jean-wheels-i-hoyanger.pdf](https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/foredrag/2015/stoperifoufebruar2015_produksjon-av-hjul-hos-saint-jean-wheels-i-hoyanger.pdf). (2016, Febrero 26).

The aluminum automotive manual. (2011). *Applications Chassis & Suspension Wheels*. Recuperado de <http://european-aluminium.eu/media/1563/aam-applications-chassis-suspension-3-wheels.pdf>. (2016, Febrero 12)

Tirerack. Wheel Tech. (2015). *Construcción del rin, aro o llanta*. Recuperado de <http://www.tirerack.com/wheels/tech/techpage.jsp?techid=90&ln=sp> (2016, Marzo 05).

Total Materia. (2013). *Tixocasting*. Recuperado de <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=318>. (2016, Marzo 24)

Universidad Católica Argentina. (2008). *Estudio y ensayo de los materiales. Aluminio y sus aleaciones*. Recuperado de <https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/aluminio-y-aleaciones.pdf>. (2016, Marzo 08.)

## CAPITULO 4.

### DISEÑO DE LA PROPUESTA

#### 4.1. Introducción.

La industria automotriz es la de mayor crecimiento en el mundo, debido a que cada día las exigencias industriales han creado sistemas automatizados con el fin de reemplazar la mano de obra. Esto ha llevado a que crezca este sector de manera exponencial implementando procesos de investigación, desarrollo e innovación enfocados en diseños conceptuales de bajo costo, alto rendimiento, calidad y seguridad; sin dejar de lado la conservación y cuidado del medio ambiente.

El aro de rueda es uno de los principales componentes del automóvil. En él se apoya todo el peso del vehículo, durante el desplazamiento del automotor se generan fuerzas radiales, tangenciales y axiales sobre el aro; las cuales son provocadas por la aceleración, frenado, sistema de suspensión, fuerzas que actúan cuando el vehículo gira, entre otras.

Hoy en día la ingeniería mecánica utiliza herramientas computacionales que permiten ejecutar algoritmos de optimización, las mismas que han sido implementadas en programas CAE, para el estudio específico de este proyecto el proceso de optimización topológica permite disminuir la masa de la estructura del aro manteniendo su rigidez estructural, es decir sin comprometer el rendimiento de la rueda y la seguridad de los ocupantes. Además, se debe tener en cuenta que la estructura es simétrica por lo tanto la distribución de los esfuerzos a lo largo de la circunferencia es similar en todos sus puntos y luego de analizar los resultados de esfuerzos posteriores a la optimización en una zona específica se puede predecir el comportamiento en todo el componente.

#### 4.2. Preproceso.

El diseño del aro primario se basó en la norma SAE J851 (*Dimensions - Wheels for Demountable Rims, Demountable Rims, and Spacer Bands*) la misma que establece

estándares de las dimensiones principales que debe tener un aro desmontable para un automóvil, las mismas que se detallan a continuación:

**Ancho del aro:** Es la distancia entre los bordes interiores de las pestañas. Se debe tener en cuenta que los neumáticos tienen un tamaño máximo y mínimo de rueda a la que puede ser colocada.

**Diámetro del aro:** Es la distancia comprendida entre asiento y asiento del neumático vista desde la parte frontal. Este diámetro debe ser exactamente el mismo que el diámetro del neumático.

**Desplazamiento del aro:** Es la distancia entre la línea central del ancho de aro y el plano de la superficie de sujeción de la rueda.

A continuación se detalla la nomenclatura de las principales cotas de un aro como se muestra en la figura 4.1 esta geometría se realizó por medio de un software CAD.

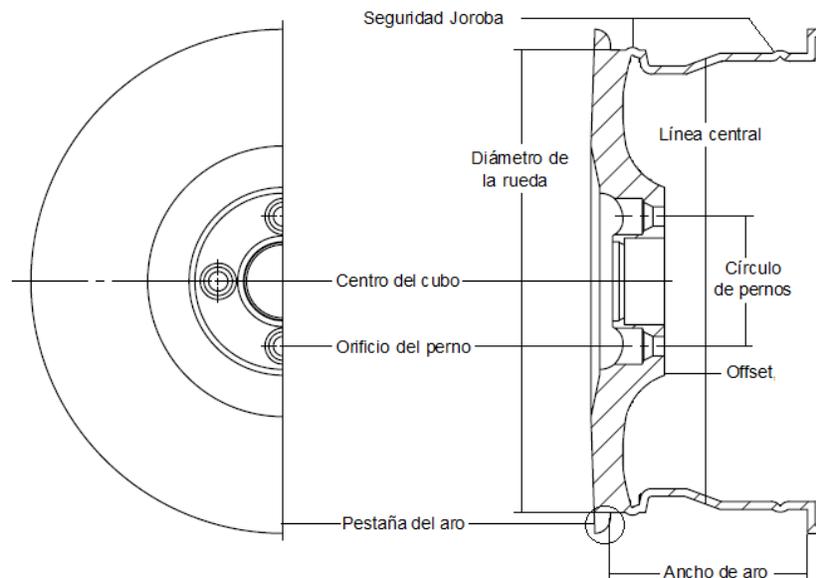


Figura 4.1 Nomenclatura de las principales cotas de un aro

La propuesta de diseño inicial, la cual cumple con las especificaciones que propone la norma SAE J851, se muestra en la figura 4.2; además en el anexo 1, se muestran las cotas que permiten la construcción de un aro para un vehículo liviano; rueda que se someterá al

proceso de optimización topológica, cuyo objetivo se fijó en la disminución de material sin comprometer la rigidez de la estructura por medio de un análisis del método de elementos finitos.

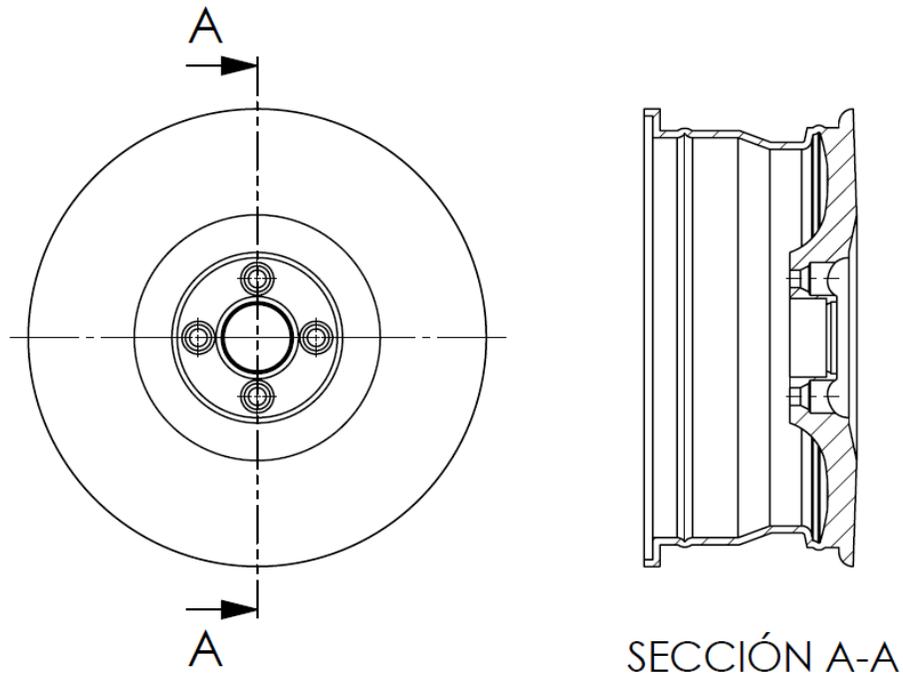


Figura 4.2 Geometría del aro base.

#### 4.2.1. Simplificación del modelo.

Con el fin de evitar las distorsiones al momento de generar el mallado, se deben eliminar de la geometría algunos detalles los cuales no influyen en el comportamiento de la estructura, por lo tanto el aro primario simplificado a mallar se muestra en la figura 4.3.

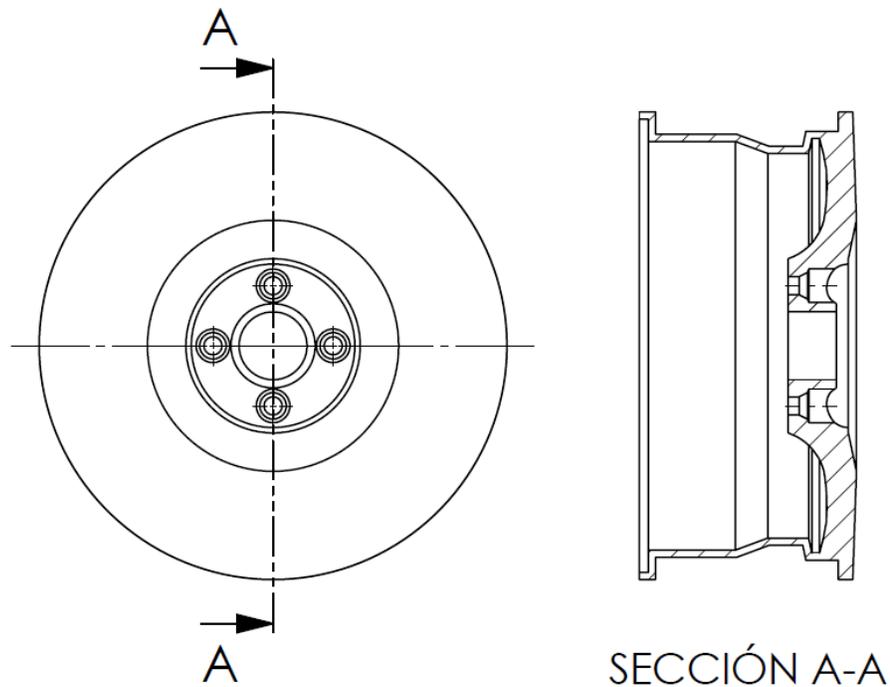


Figura 4.3 Aro base sin bordes y chaflanes.

#### 4.3. Propiedades del aro.

El material del aro es de aluminio 6061-T6 “*Thixo forgin*”, las características del aluminio utilizado en el modelo es isotrópico, homogéneo; la fundición de este tipo de material se realiza a 635°C y el revenido se realiza a 600°C durante 60 minutos. (WANG, S. ZHOU, N. QI, W. ZHENG, K. 2014)

El aluminio 6061-T6 “*Thixo forgin*” tiene las siguientes características físicas y mecánicas:

- Densidad: 2700 kg/m<sup>3</sup>.
- Módulo de Young's: 69 G Pa.
- Radio de Poisson: 0,331.
- Resistencia ultima a la tracción 327,6 MPa.

#### 4.4. Optimización topológica.

El proceso empleado para la realización del estudio de optimización topológica del aro de rueda planteado, se muestra en el gráfico 4.1 el diagrama de flujo, en él se aprecia cada una de las fases del diagrama de flujo como el objetivo, definición del modelo, dimensiones, mallado de la geometría, selección del material, determinación de áreas de diseño y no diseño, aplicación de condiciones de contorno, planteamiento de propuestas de diseño de aros para posterior análisis estático y dinámico, parámetros para validación de geometría propuesta.

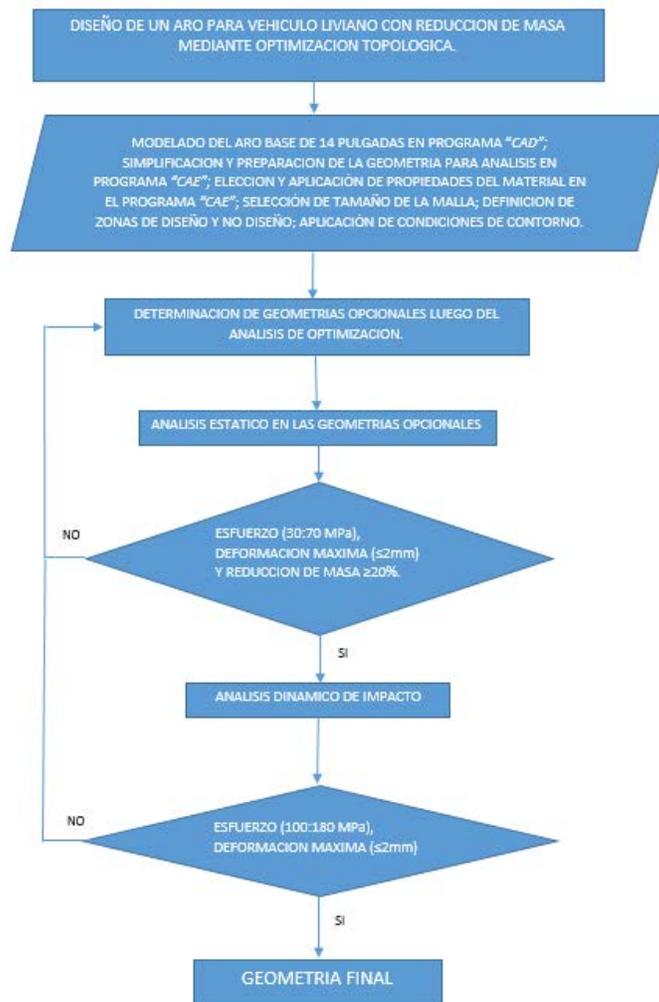


Gráfico 4.1 .Diagrama de flujo optimización topológica.

#### 4.4.1. Selección del tamaño de malla.

En el proceso de la simulación una de las partes más importantes es el mallado, ya que permite discretizar el modelo de forma adecuada. La discretización depende del tamaño de cada elemento y del tipo de elemento seleccionado por lo tanto la precisión de los resultados está directamente relacionado con la calidad de la malla; no siempre crear una malla fina asegura buenos resultados, debido a que se generan múltiples ecuaciones, lo que significa mayor tiempo para ejecutar el estudio y obtener los resultados; el tamaño de elemento óptimo tiene que ser definido a través de un análisis de sensibilidad de la malla sobre la respuesta.

Se debe tener en cuenta los siguientes factores al momento de generar una malla: (HERRERA & SOSA, 2012; DASSAULT SYSTEMES, 2014)

- Geometría generada para el mallado.
- Opciones de malla activas del programa.
- Especificaciones de control de malla.
- Opciones de conexión para contacto.
- Tamaño y tolerancia de elementos.

Debido a la complejidad de la geometría analizada y para un correcto ajuste del mallado se utilizaron distintos tamaños de elementos para cada sección del aro, se consideraron elementos tetraédricos lineales de 4 nodos (C3D4) que son en total 181.467 elementos. Para la preparación de las superficies que proyectaran hacia los elementos tetraédricos se realizaron refinamientos de los elementos en 2 dimensiones como se muestra en las siguientes figuras: figura 4.4 donde se ilustra el número de elementos que se ajustan a la parte frontal del aro, figura 4.5 se muestra la disminución de los elementos en la parte lateral de la rueda, en la figura 4.6 se presenta el número de los elementos seleccionados para la parte posterior de la estructura, en la figura 4.7 se ilustra el número de los elementos seleccionados para el cubo central del aro; además se debe considerar y delimitar las superficies a optimizar, así como también las condiciones de contorno como son las restricciones y cargas correspondientes en el modelo.

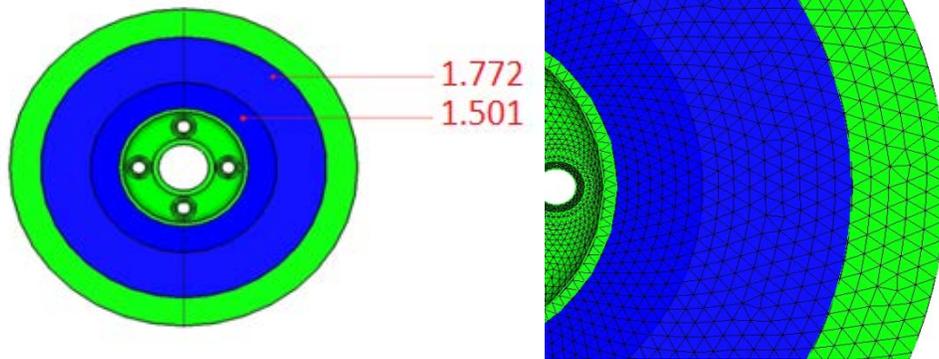


Figura 4.4 Número de elementos en la parte frontal del aro.

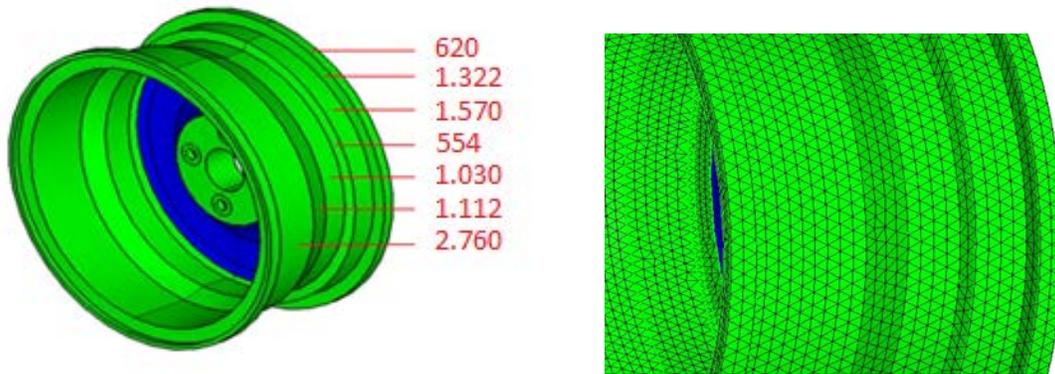


Figura 4.5 Número de elementos en la parte lateral de la rueda.

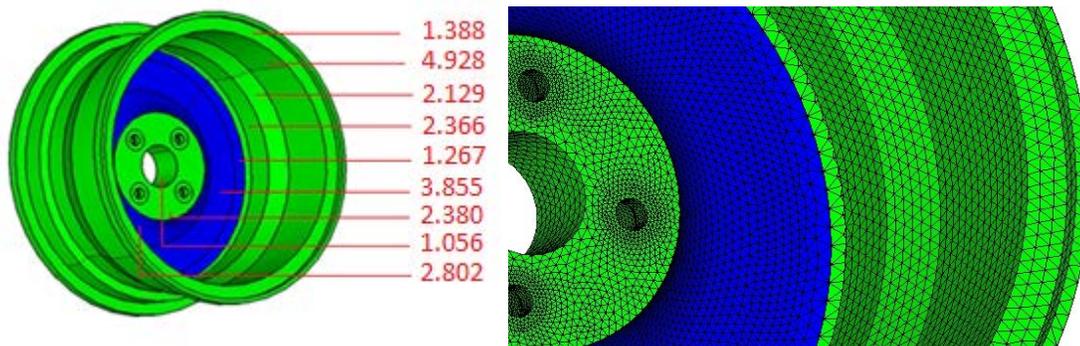


Figura 4.6 Número de elementos de la parte posterior.

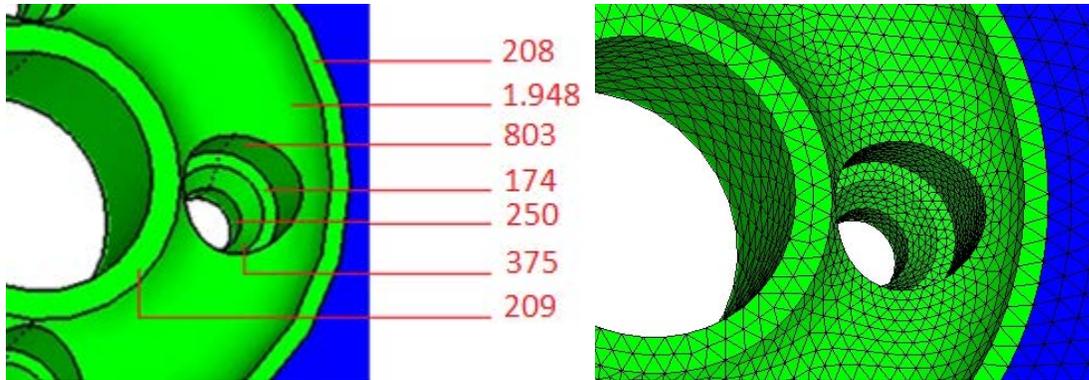


Figura 4.7 Cantidad de elementos en el cubo central del aro.

#### 4.5. Definición de zonas.

En la geometría se deben definir las secciones dentro del aro, las cuales serán denominadas: área de diseño; sección que se puede extraer material es decir donde se obtendrá la optimización de la rueda, y, área de no diseño; que será la parte estructural de la rueda donde no se puede extraer material ya que son zonas cuya geometría no puede variar figura 4.8.

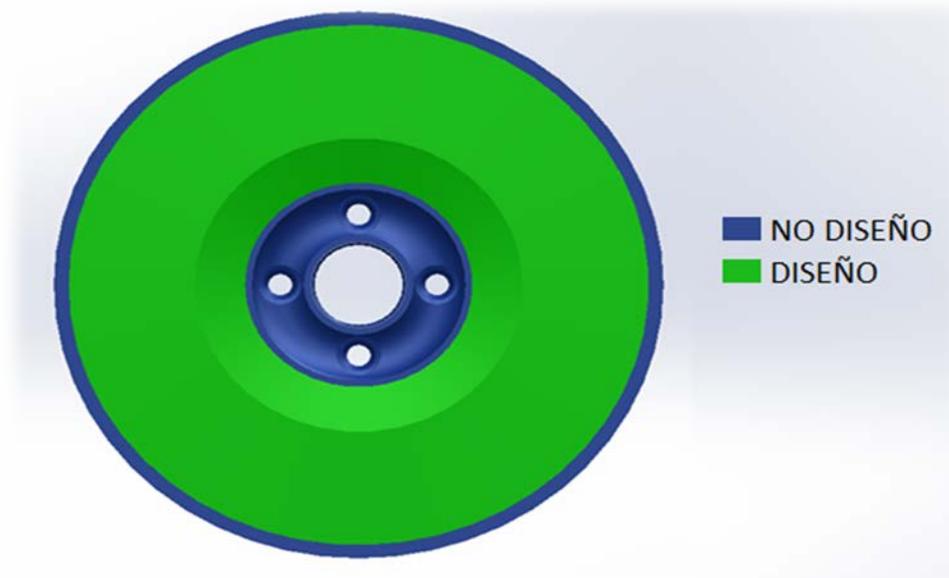


Figura 4.8 Definición de zonas de diseño y no diseño.

#### 4.6. Condiciones de contorno.

Para obtener una correcta optimización topológica por el método de elementos finitos, se debe tener en cuenta condiciones contorno; el aro debe estar sometido a una carga normal la misma que está determinada por el fabricante que el total del vehículo tiene una masa de 1.535Kg con una distribución de masa del 60% hacia el eje delantero; lo cual nos determina como un punto crítico a analizar. Una vez tomado en cuenta la distribución de peso en cada rueda delantera, esta genera una fuerza normal de 4.517,5N, Además se consideró la fuerza tangencial entregada por el par motor del vehículo. Una vez especificada las cargas que soporta la rueda, se imponen las restricciones de movimiento de la estructura, en este caso los agujeros del cubo de la rueda se los considera como apoyos fijos (figura 4.9). Es necesario aclarar que para lograr el modelo optimizado, se deberá especificar una restricción de simetría del componente, en este caso la restricción de simetría se la impuso para 12 planos distribuidas de forma equidistante y cíclica alrededor del centro del aro.

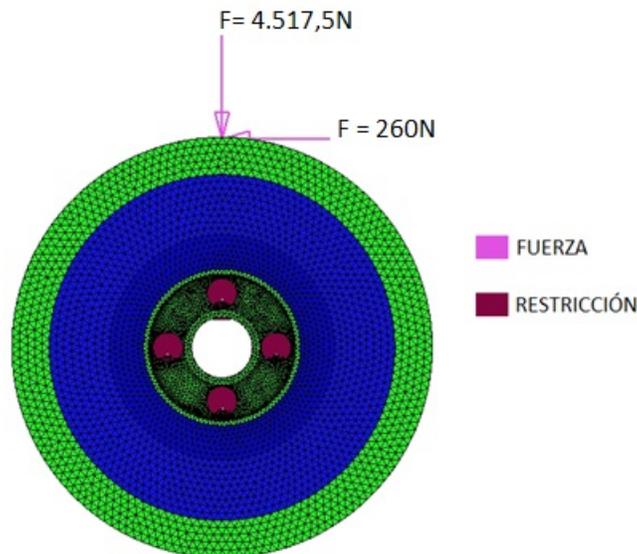


Figura 4.9 Aro base con fuerza normal cíclica X12 y restricciones.

Luego de especificar las condiciones de contorno sobre el aro base, se genera el análisis estático el mismo que permite visualizar sobre el área de diseño donde se puede optimizar la geometría es decir donde se puede disminuir material como se ilustra en la figura 4.10

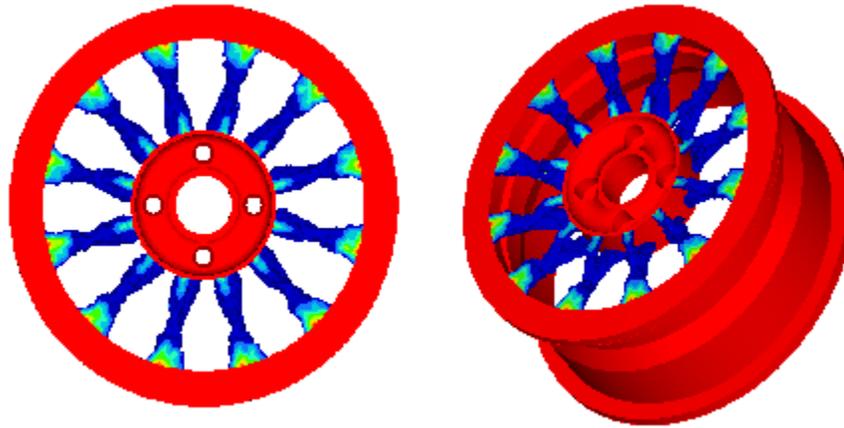


Figura 4.10 Distribución de la densidad de los elementos, luego del proceso de optimización topológica. (original a colores)

#### 4.7. Optimización topológica

El principal objetivo de la optimización es la de reducción de masa en la superficie donde se forman los nervios de la rueda para de esta manera disminuir el peso del aro, creando radios que unan el cubo central y la pestaña del aro, como se muestran en las figura 4.11 y figura 4.12, se disminuyó material en un porcentaje del 35.24% del peso total del aro, generando un modelo de doce radios; el mismo que debe tener un comportamiento estructural muy similar al aro primario.



Figura 4.11 Aro optimizado en vista frontal.



Figura 4.12 Aro optimizado en perspectiva.

## **4.8. Análisis y validación de la propuesta de diseño.**

### **4.8.1. Análisis de esfuerzos.**

Luego de la aplicación del criterio de optimización topológica en el modelo, se procede a la simulación mediante el método de elementos finitos para determinar si el comportamiento de la geometría obtenida tiene una conducta similar a la del aro base, la rueda debe estar sometida a una carga normal  $4.517,5\text{N}$ , este es el peso que soporta cada eje del vehículo como se muestra en la figura 4.13. Las superficies consideradas críticas en el análisis del modelo son las pestañas, los nervios y el cubo central de la rueda.

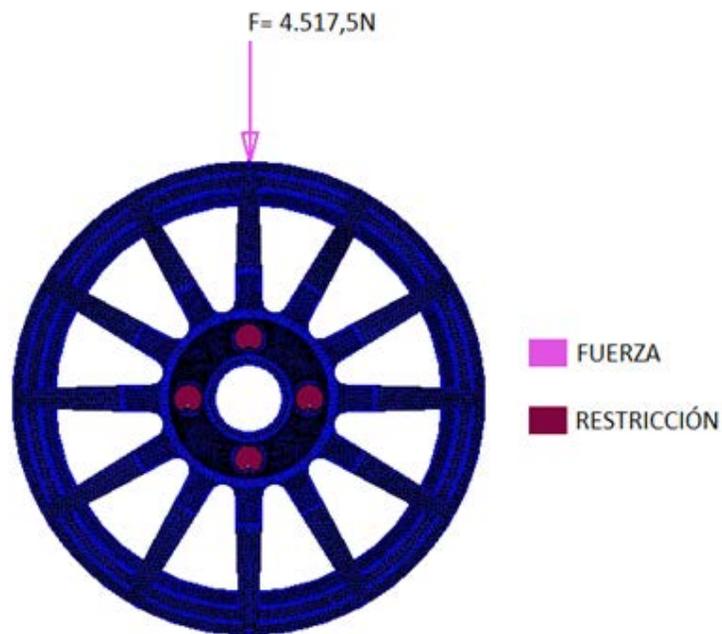


Figura 4.13 Aro optimizado con fuerza normal y restricciones.

#### 4.8.2 Resultados.

Los resultados obtenidos en las simulaciones tanto del aro base como de la rueda optimizada son muy similares. Las dos geometrías no fallan al cargar la fuerza normal a la que están sometidas las dos estructuras. Para una mejor exposición cromática de del esfuerzo máximo, se estableció un rango de 0 a 20MPa en el aro base y de 0 a 40MPa en el aro optimizado.

En la figura 4.14 se observa que el esfuerzo máximo que es de 25,27 MPa a la que está sometido el aro base.

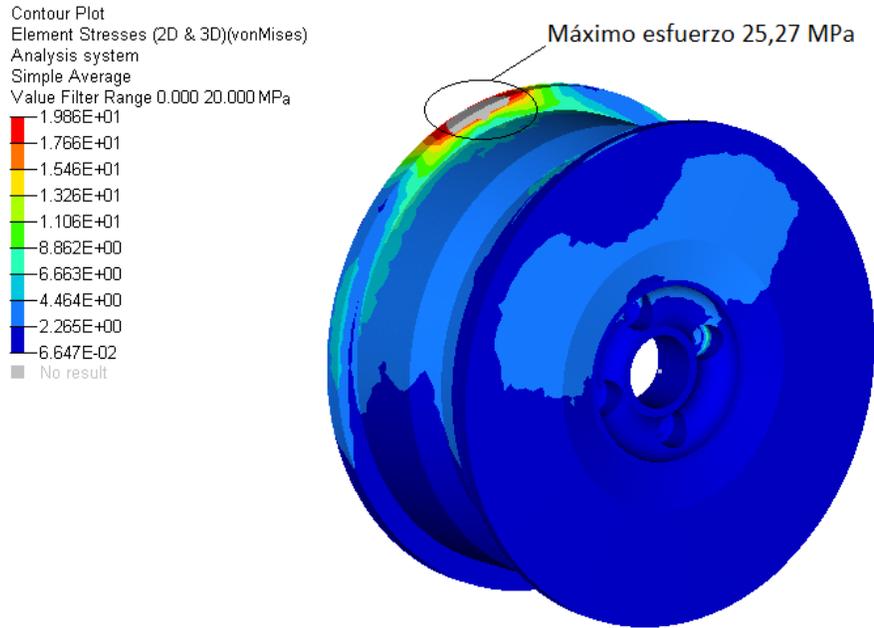


Figura 4.14 Máximo esfuerzo aro base 25,27 MPa. (original a colores)

En la figura 4.15 se muestra que el esfuerzo máximo es de 43.61MPa a la que está sometido el aro optimizado.

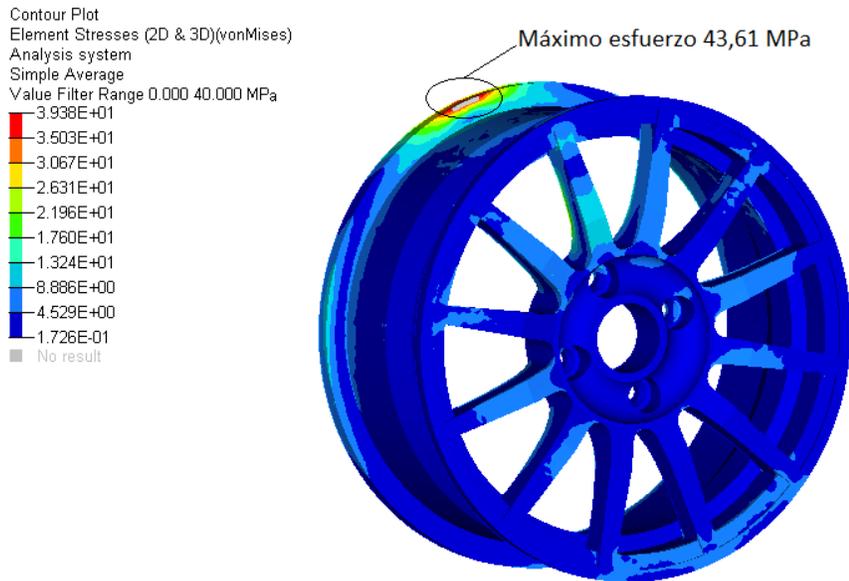


Figura 4.15 Máximo esfuerzo del aro optimizado 43,61 MPa.

Los resultados del esfuerzo máximo obtenidos en la simulación tanto en el aro base como en el aro optimizado son equivalentes es decir que la disminución de masa obtenida en la

estructura no afecto a la performance del aro y la estructura no falla ni se genera roturas o grietas en el modelo.

La deformación máxima a la que está sometido el aro base se sitúa en la pestaña posterior del aro la misma que es de 0,195mm como se ilustra en la figura 4.16.

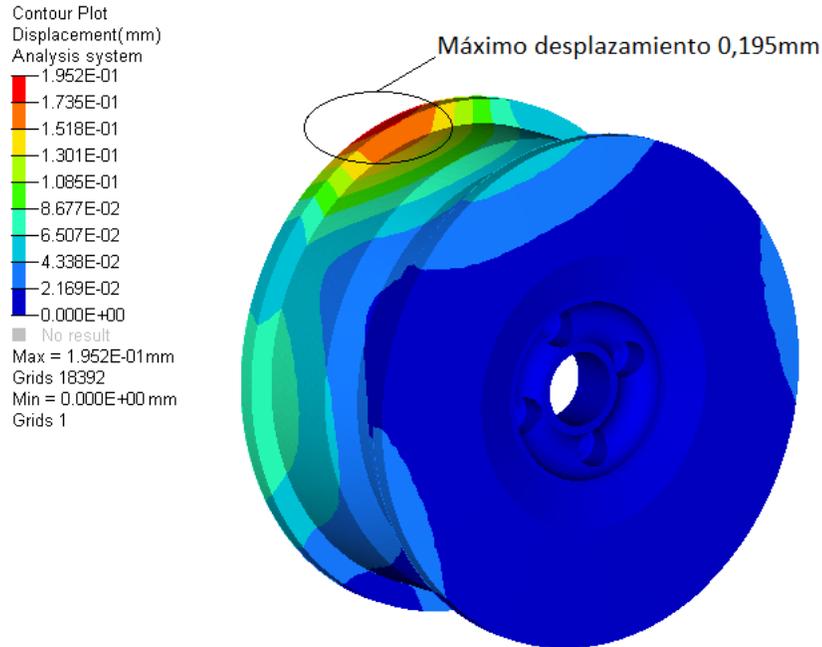


Figura 4.16 Deformación máxima aro base 0.195mm.

La deformación máxima a la que está sometido la rueda optimizada se ubica en la pestaña posterior del aro la misma que es de 0,351mm como se ilustra en la figura 4.17

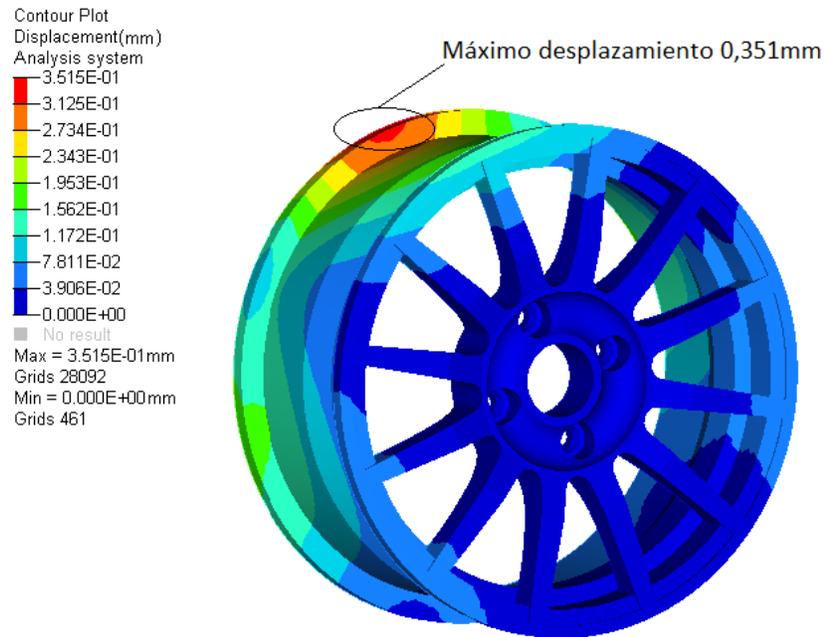


Figura 4.17 Deformación máxima aro optimizado 0,351mm.

Los resultados de deformación obtenidos en la simulación tanto en el aro base como en el aro optimizado son similares esta deformación permite que el neumático no tenga una pérdida súbita de presión por lo tanto cumple con otro de los criterios de diseño de la rueda.

#### 4.9. Conclusiones.

Para obtener una mejor calidad de malla se debe eliminar bordes, chaflanes, curvaturas pequeñas del diseño CAD, con el fin de evitar distorsiones en el ajuste de las mallas de las distintas superficies y prevenir costos computacionales elevados en el proceso iterativo de optimización.

En la simulación una de las partes más importantes es el mallado del modelo, la discretización depende del tamaño y del tipo de elemento seleccionado por lo tanto la precisión de los resultados está relacionado con la calidad de la discretización; el tamaño de elemento optimo se definió a través de un análisis de sensibilidad de la malla, a través de este proceso se logró validar el tamaño de malla utilizado.

Para una correcta optimización topológica, se debe considerar las áreas de diseño y no diseño en la estructura así como también las condiciones contorno como son: la carga

normal, la fuerza tangencial entregada por el par motor del vehículo y las restricciones de movimiento del modelo.

El principal objetivo de la optimización es la de reducción de masa en la superficie donde se forman los nervios de la rueda, utilizando esta metodología se logró disminuir en un 33%, con respecto al modelo original. De acuerdo a los resultados mostrados, se puede apreciar que no existen diferencias significativas al medir la rigidez del modelo original, en comparación con el modelo simplificado.

#### **4.10. Referencias Bibliográficas.**

Anil Kumar, M. (2013). *Topology Optimization of Alloy Wheel*. Hyundai Motor India Engineering.

Turaka V., Rao, (Octubre 2014). *Design & Optimization of a Rim Using Finite Element Analysis*. Design & Optimization of a Rim Using Finite Element Analysis.

Chaitanya, S. (Agosto 2015). *Mass Optimization of Automobile Wheel Rim*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT).

Sourav, Das. (Junio 2014). *Design and Weight Optimization of Aluminium Alloy Wheel*. International Journal of Scientific and Research Publications

Bannantine, J. A., Handrock J. L. (1990). *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, Prentice-Hall, Inc.

SAE: (2011) Dimensions - Wheels for Demountable Rims, Demountable Rims, and Spacer Bands SAE J851

SAE. (2001) Wheels-passenger car and light truck performance requirements and test procedures SAE J328.

## CAPITULO 5.

### PRUEBA DE IMPACTO PARA RUEDAS DE VEHÍCULOS.

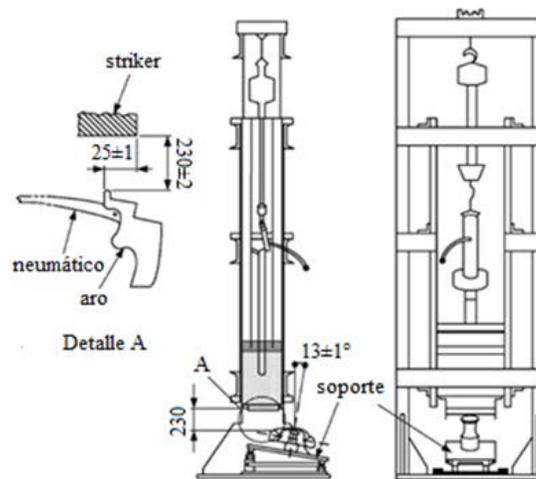
#### 5.1. Introducción.

Uno de los objetivos de esta simulación de la prueba de impacto es determinar si el aro estructuralmente cumple con los siguientes requerimientos:

1. No se fracture el cubo central de la rueda.
2. No exista separación entre el aro y el neumático.
3. No se dé pérdida súbita de presión de la llanta.
4. No se genere deformación o fractura en la pestaña del aro.

#### 5.2. Ensayo mecánico prueba de impacto.

La norma base a seguir para el ensayo de impacto en aros para vehículos livianos, es la SAE J175 (Wheels-impact test procedures-road vehicles), la misma que establece la metodología para el desarrollo de la prueba en los aros fabricados en aluminio, en la figura 5.1 se muestra cuáles son equipos necesarios y la disposición de cada uno de ellos para el experimento.



Fuente: SAE J185, 2011.

Figura 5.1 Disposición y ensamblaje de los equipos para prueba de impacto.

### 5.2.1. Equipo y procedimiento.

Los equipos necesarios para la prueba de impacto física se componen de los siguientes dispositivos: un “*striker*” con masa y tamaño específico; un conjunto aro-neumático que debe ser montado a un ángulo de  $13^\circ$  entre el plano horizontal y el hombro inferior delantero del neumático.

El *striker* se deja caer desde una altura de  $230 \pm 2$  mm por encima del punto más alto del ensamble aro-neumático. Además, el *striker* debe estar desplazado  $25 \pm 1$  mm con respecto al diámetro exterior del aro. El neumático debe tener una presión de inflado de 200 KPa.

### 5.3. Propiedades físicas y mecánicas de los elementos.

#### 5.3.1. Propiedades del aro.

El material utilizado en el aro es de aluminio 6061-T6 *Thixo forgin*, las características físicas y mecánicas del mismo fueron mencionadas en el apartado 4.3.

Las propiedades plásticas del material para el proceso del análisis dinámico son consideradas bajo el principio de Johnson Cook el cual tiene como variables:

- $A = 289,6$  MPa.
- $B = 203,4$  MPa.
- $n = 0,35$ .

Donde:

- $A$  = Es el límite de fluencia expresada en MPa.
- $B$  = Es el factor de tensión expresada en MPa.
- $n$  = Es el exponencial de tensión es adimensional.

#### 5.3.2. Propiedades de *Striker*.

El material del *striker* es acero y sus características físicas y mecánicas utilizadas en el análisis son isotrópicas y homogéneas. Para determinar la masa del *striker* según la norma SAE J175, se aplica la siguiente ecuación:

$$D = 0.6W + 180 \quad (5.1)$$

Donde:

- D= Masa del *striker* expresada en kilogramos.
- W= Carga estática máxima que soporta cada rueda, este valor es especificado por el fabricante Chevrolet para el vehículo modelo Sail el cual es de 460,5 kg.

Por lo tanto, la masa del *striker* es de 456.3 Kg con las dimensiones 375 mm de longitud, 125mm de ancho y 126,94 mm de alto. (Las mismas que se especifican en la norma SAE J175).

De esta manera las propiedades físicas y mecánicas del *striker* son:

- Densidad 7800 kg/m<sup>3</sup>.
- Módulo de Young's 210 GPa.
- Radio de Poisson 0,30.

#### **5.4. Criterios de fallas mediante análisis de elementos finitos.**

En base a la norma SAE J175 son dos criterios que se consideran en el análisis computacional de impacto del aro:

- No se genere fracturas en el elemento central del aro.
- El elemento central no se separe de la pestaña del aro.

Para el cumplimiento de estos criterios se debe definir las partes principales de las que está conformado el aro como se ilustra en la figura 5.2

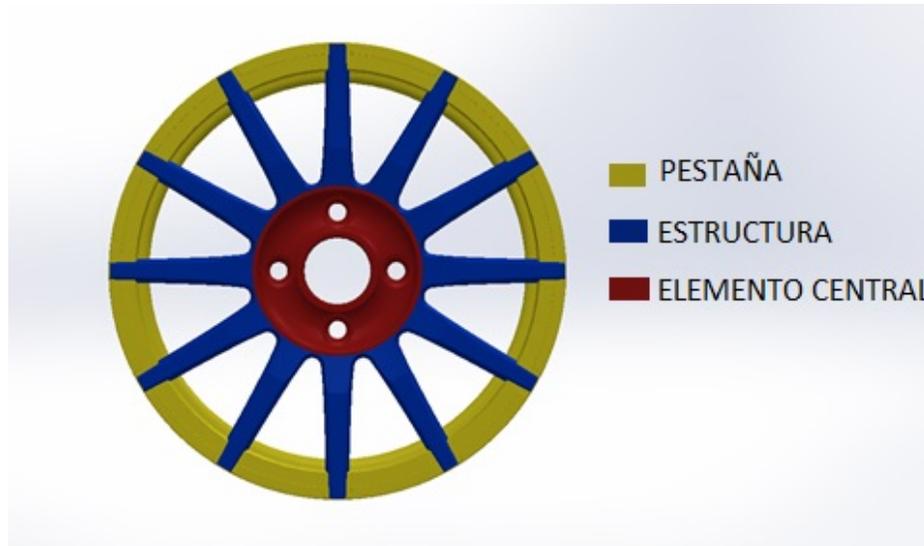


Figura 5.2 Disposición de las partes principales del aro.

## 5.5. Modelado.

### 5.5.1. Análisis Dinámico.

Para el análisis dinámico de la prueba de impacto del aro se realizó mediante un programa computacional “CAE” con la aplicación del método de elementos finitos; en el cual el ensamblaje del ensayo consta de dos elementos: primero un *striker* con las dimensiones y propiedades antes mencionadas; y segundo el aro modelado que se utilizó previamente en el análisis estático.

Estos elementos fueron ensamblados en la configuración que establece la norma SAE J175 con modificaciones para disminuir el tiempo de análisis computacional que fueron: realizar el análisis con la mitad simétrica del modelo; y, *striker* – aro en contacto y no a los 230mm de altura.

La disposición de los elementos a considerar para la prueba de impacto se muestra en la figura 5.3.

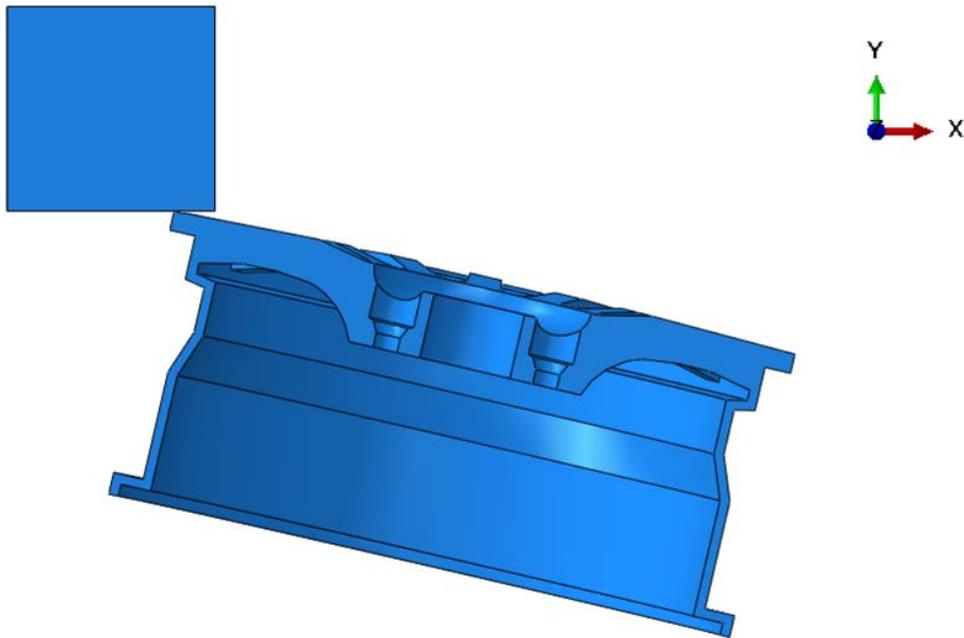


Figura 5.3 Ensamblaje la simulación en vista frontal.

Debido a la complejidad de la geometría del aro y para un correcto ajuste del mallado, se consideraron elementos tetraédricos lineales de 4 nodos (C3D4). Sobre los resultados del análisis de convergencia del tamaño de elemento, se seleccionó un tamaño general de 5mm; así de esta manera generándose 23.998 nodos y 99.061 elementos, como se ilustra en la figura 5.4 y 5.5.



Figura 5.4 Malla del aro en vista frontal.



Figura 5.5 Malla del aro en vista superior.

En el *striker* por su geometría regular se utilizó elementos hexaédricos de 8 nodos (C3D8R) de 12mm de tamaño generando 2.244 nodos y 1.760 elementos como se muestra en la figura 5.6.

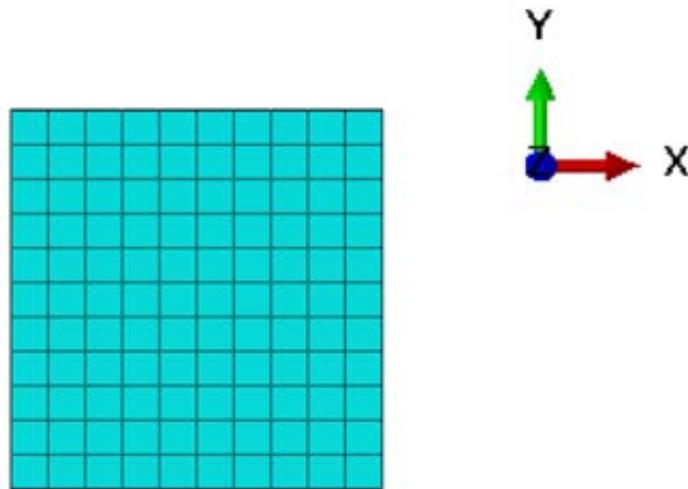


Figura 5.6 Malla del striker en vista frontal.

## 5.6. Condiciones de contorno.

Para un correcto análisis dinámico por el método de elementos finitos, se debe tener en cuenta condiciones contorno similares a las del ensayo experimental, es decir; el modelo del aro debe tener un ángulo de inclinación de 13 grados con respecto a la horizontal, todos los grados de libertad del cubo central del aro y los agujeros de sujeción del aro fijos como se ilustra en la figura 5.7.

El *striker* se debe superponer a la pestaña de la rueda desplazado hacia adentro 25 mm; y, además se restringe en la dirección horizontal en el *striker* para asegurar de esta manera que el mismo solo se pueda desplazar verticalmente. Para disminuir el tiempo de análisis se considera en contacto entre el *striker* y el aro, pero considerando en la velocidad inicial la conservación de energía generada por este elemento durante su desplazamiento de los 230mm. El modelado por el método de elementos finitos no incluye el neumático, pero si considera la energía cinética que absorbe el mismo al dejar caer el *striker* durante la prueba de impacto. Por lo tanto, se asume un 20% de reducción de la energía cinética.

Esta simulación de la prueba de impacto es un evento de alta velocidad y corta duración por lo que la fricción entre el aro y el *striker* es despreciable.

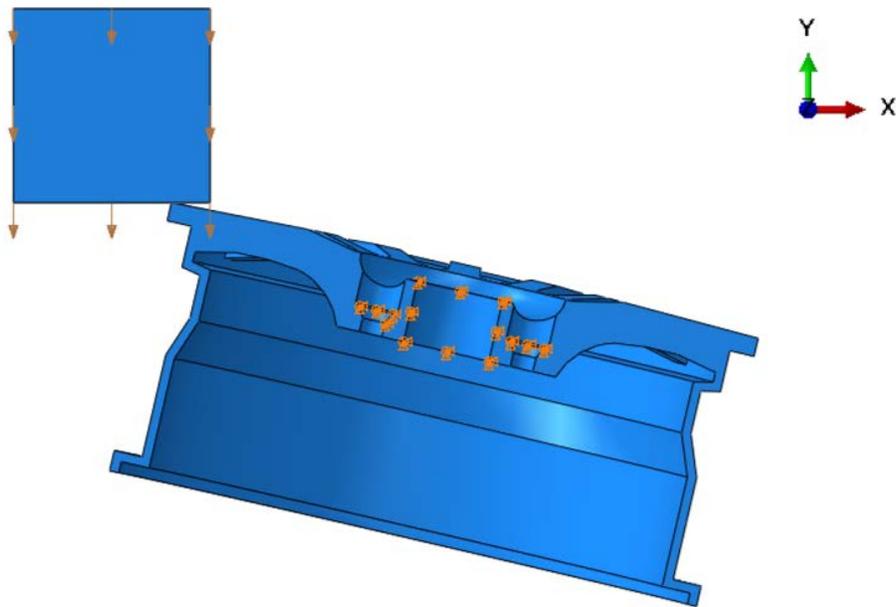


Figura 5.7 Condiciones de contorno en el ensamblaje en vista frontal.

Para calcular la velocidad inicial del *striker* sobre el aro, se utilizó la siguiente ecuación aplicando el principio de conservación de la energía

$$V_i = \sqrt{2 \times (1 - \eta) \times g \times (H_0 - H)} \quad (5.2)$$

Donde:

- $V_i$ = Velocidad de impacto inicial del *striker*.
- $\eta$ = Porcentaje de reducción de la energía cinética al no ser considerado el neumático es decir del 20%.
- $g$ = Gravedad 9800mm/s<sup>2</sup>
- $H_0$  = Altura inicial del *striker* 230mm.
- $H$  = Altura final del *striker* 0mm.

Generando de esta manera una velocidad inicial del *striker* de 1900 mm/s.

### 5.7. Casos estudiados.

Una vez generada una geometría optimizada la misma que se obtuvo en el capítulo anterior como se indica en la figura 5.8, aro que cumple con todas la especificaciones técnicas para vehículos livianos, se realizó la prueba de impacto del aro mediante simulación por el método de elementos finitos -MEF-; basándose en la norma SAE J175 –“*Wheels—Impact Test Procedures—Road Vehicles*”, los resultados obtenidos en esta simulación, son comparados por los presentados por (C.L Chang, 2008) quien validó sus simulaciones con ensayos experimentales.

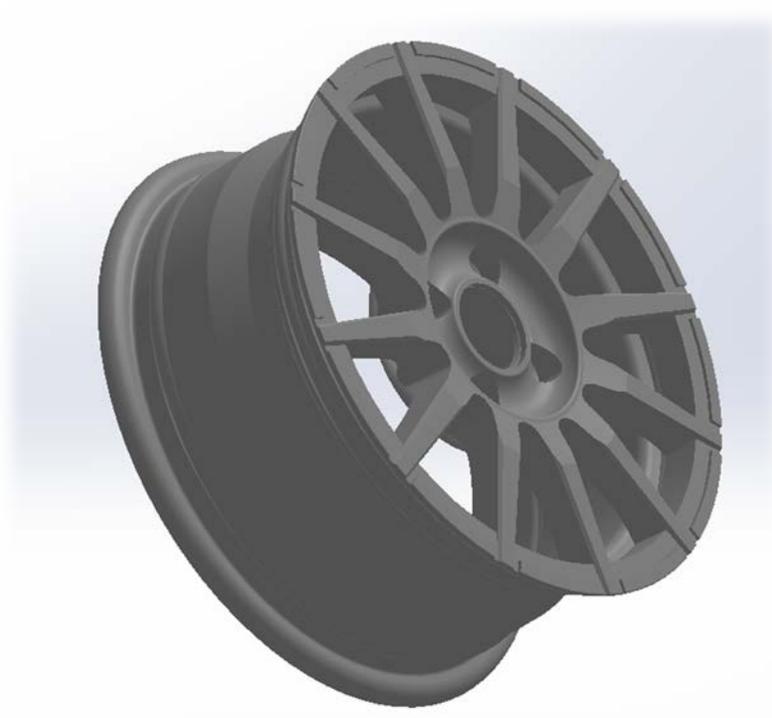


Figura 5.8 Aro con geometría optimizada en perspectiva.

### **5.8. Criterio para el mallado y su convergencia.**

El proceso de mallado es la parte fundamental en el proceso de análisis y simulación, ya que permite discretizar el modelo. La precisión y calidad de resultados varían conjuntamente se cambian los tamaños de elementos; por lo que es necesario realizar el proceso de sensibilidad del tamaño de malla para de esta manera generar resultados aceptables.

La sensibilidad de tamaño de malla se realizó con la ejecución de la simulación de impacto con tamaños de malla de 12, 10, 8, 6, 5 y 4 milímetros; obteniendo las variables de desplazamiento, esfuerzo máximo y número de elementos, para de esta manera graficar y así determinar en qué tamaño de elemento donde convergen dichas variables. Como se observa en la gráfica 5.1 el tamaño de malla óptimo para este análisis es de 5 milímetros.

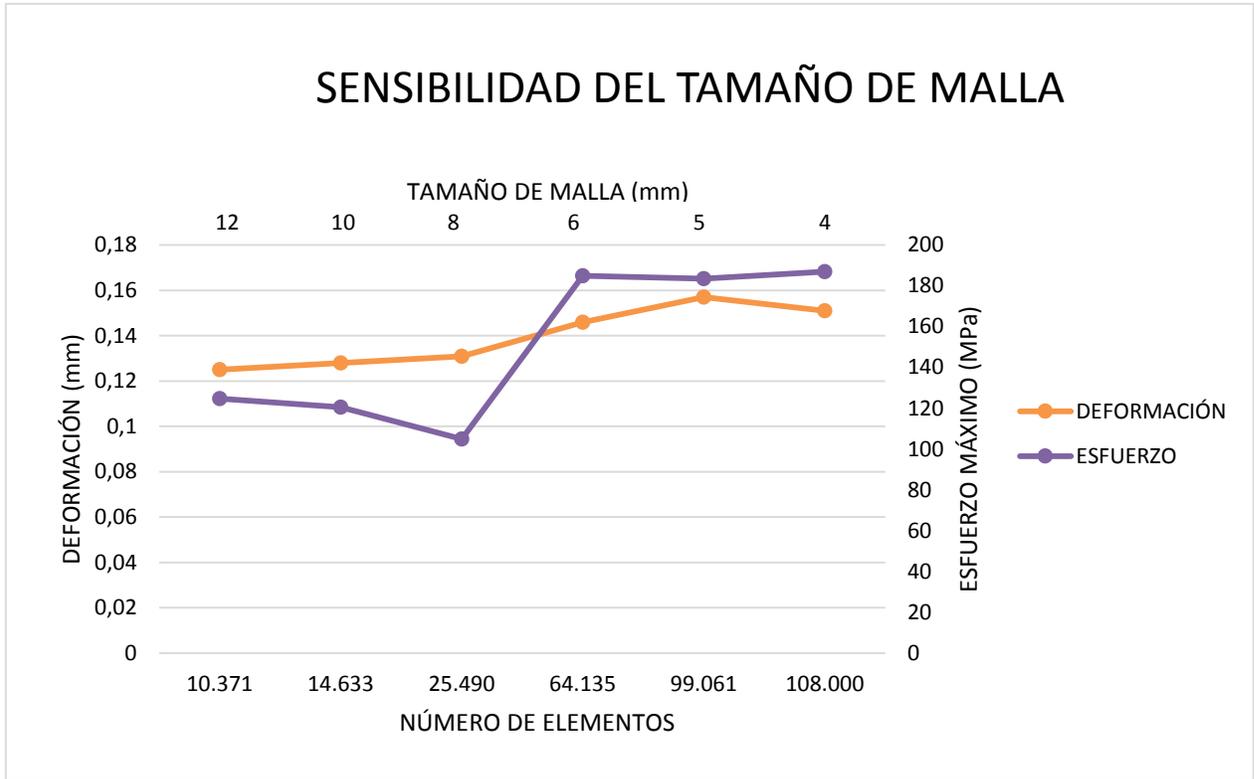


Gráfico 5.1 Sensibilidad del tamaño de malla.

### 5.9. Localización de sensores de deformación.

Con el fin de cotejar los resultados obtenidos en esta simulación y comparados con los presentados por C.L Chang, se debe colocar dos sensores, como se muestran en las figura 5.9 y figura 5.10, los mismos que se ubicaron en nervio del aro en dos zonas diferentes para de esta manera medir la deformación de la rueda durante la prueba de impacto los cuales serán mencionados como S1 y S2.

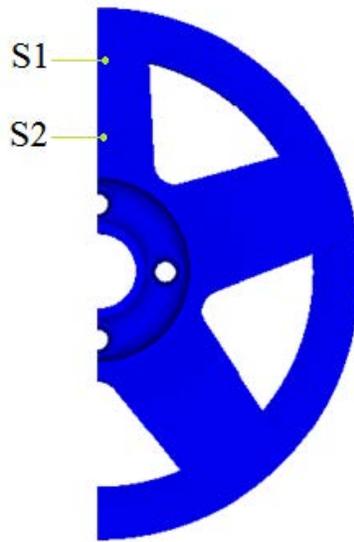


Figura 5.9 Aro con geometría optimizada en perspectiva.

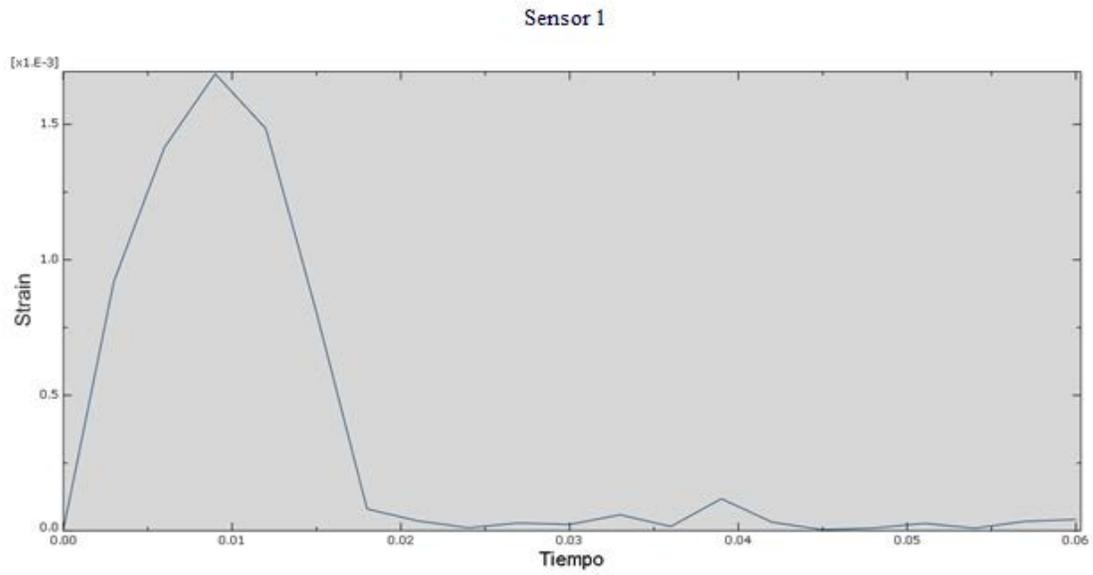


Gráfico 5.2 Esfuerzo principal en sensor 1 del aro de 5 puntas.

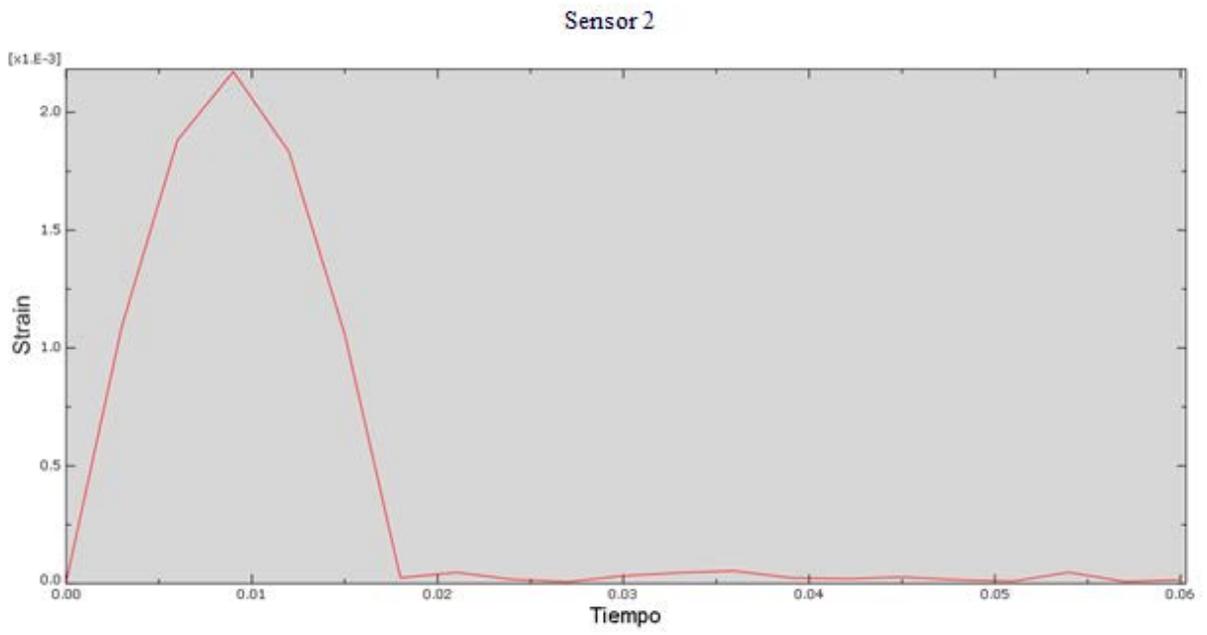


Gráfico 5.3 Esfuerzo principal en sensor 2 del aro de 5 puntas.

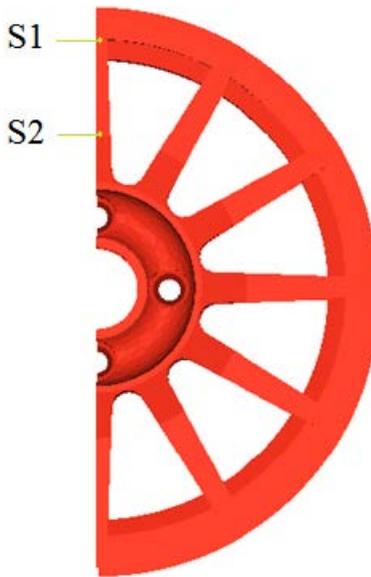


Figura 5.10 Ubicación de sensores en aro de 12 puntas.

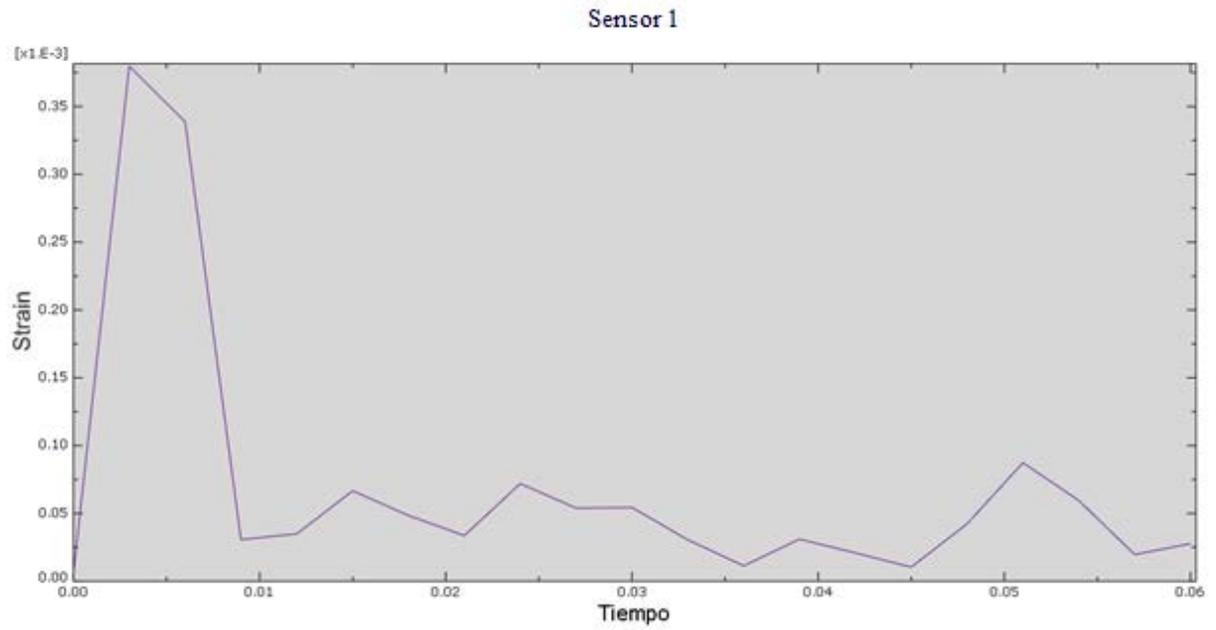


Gráfico 5.4 Esfuerzo principal en sensor 1 del aro de 12 puntas.

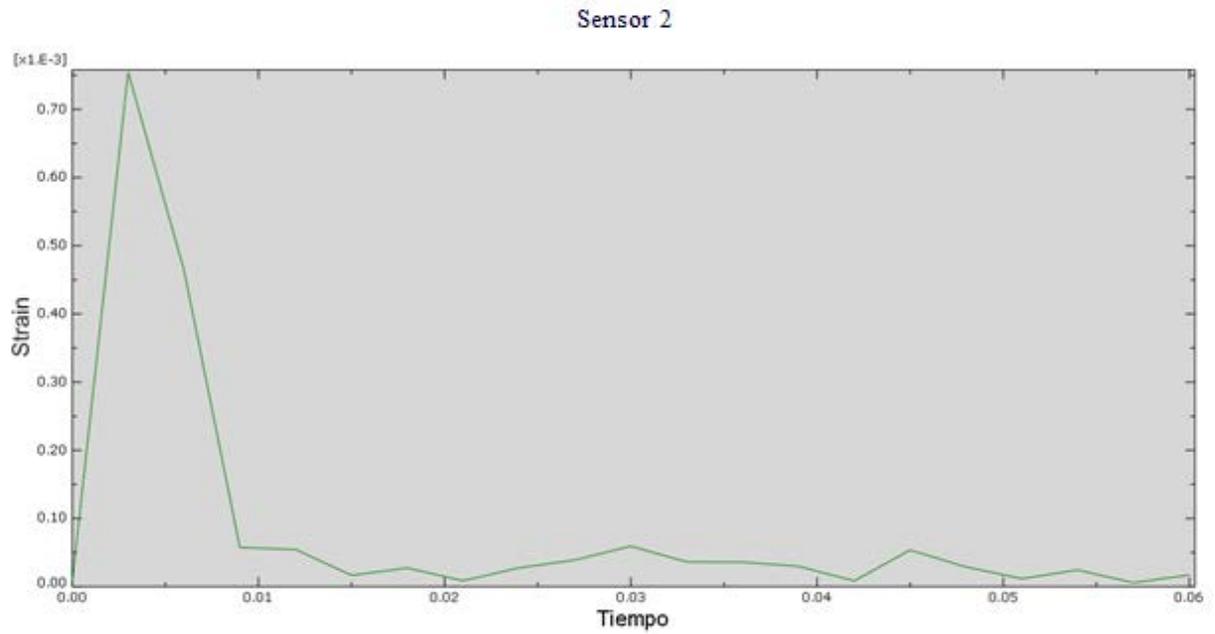


Gráfico 5.5 Esfuerzo principal en sensor 2 del aro de 12 puntas.

### 5.10. Resultados.

Según los resultados obtenidos en la simulación el aro es sometido al máximo esfuerzo durante el primer impacto del *striker*, el mismo que se disipa rápidamente. El aro está sometido a un esfuerzo menor que el de límite de cedencia propio del material. Para una mejor exposición cromática de los esfuerzos disipados por el impacto, se estableció un rango de 0 a 170MPa.

En la figura 5.11 se observa que el esfuerzo máximo crítico a considerar es de 139,8 MPa ya que la zona gris con valor de 183,5 MPa se encuentra en una arista viva y por criterio de análisis en el diseño este ha sido descartado.

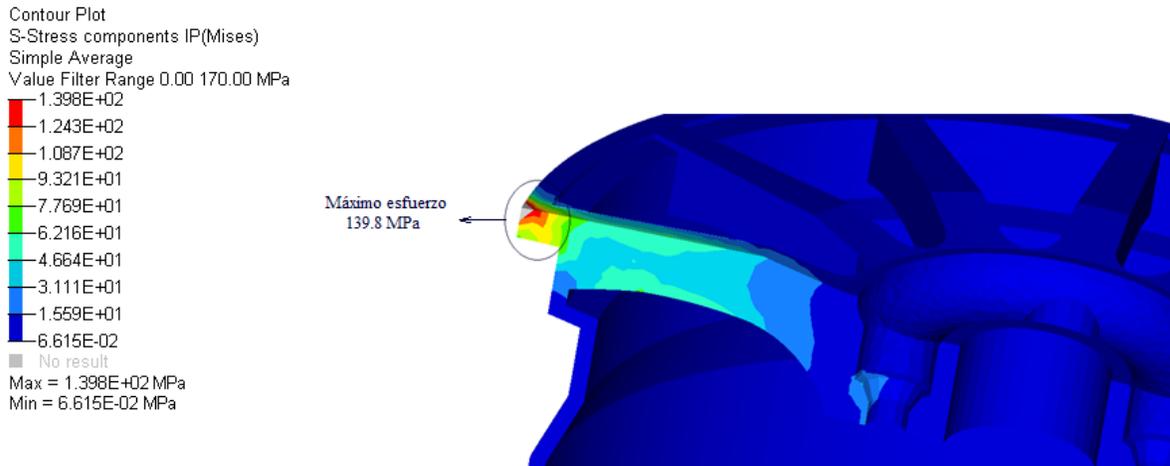


Figura 5.11 Máximo esfuerzo en impacto (MPa).

La deformación máxima a la que fue sometido el aro se sitúa en la pestaña del aro la misma que es de 0.1568mm como se ilustra en la figura 5.12, esta deformación permite que el neumático no tenga una pérdida súbita de presión por lo tanto cumple con uno de los criterios de diseño de la rueda.

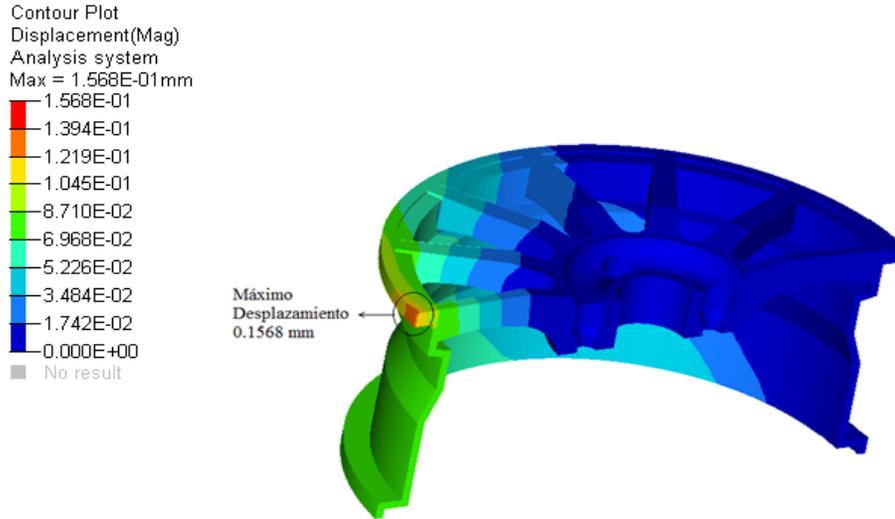


Figura 5.12 Deformación máxima en impacto (mm).

Al cotejar los resultados obtenidos en esta simulación y comparados con los presentados por C.L Chang, el principal esfuerzo a la tensión en los dos puntos de análisis donde se ubicaron los sensores de tensión los resultados son muy similares y siguen un patrón en el cual de demuestran que el principal esfuerzo al que está sometida la rueda es en el primer impacto como se muestran en la figura 5.13 esfuerzo principal en el sensor uno tanto en el aro de doce nervios y en el aro de cinco nervios, figura 5.14 esfuerzo principal en el sensor dos para el aro de doce nervios y como para el aro de cinco nervios.

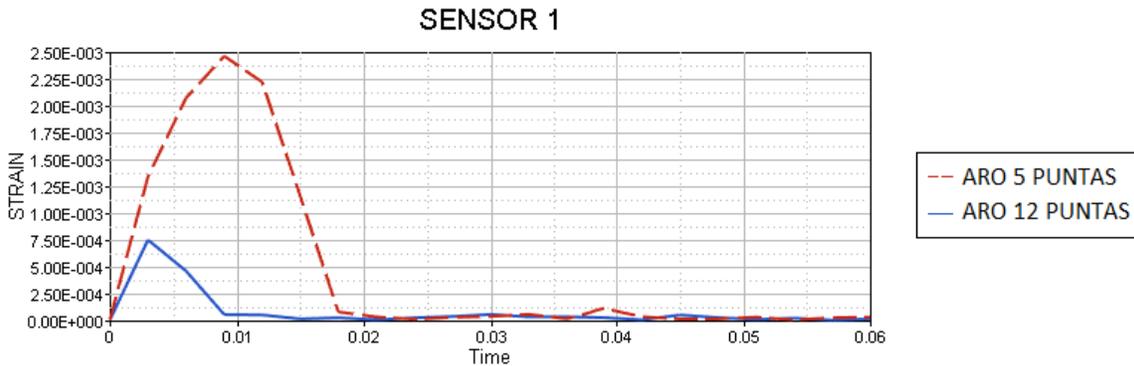


Gráfico 5.6 Esfuerzo principal Sensor 1 para las dos geometrías.

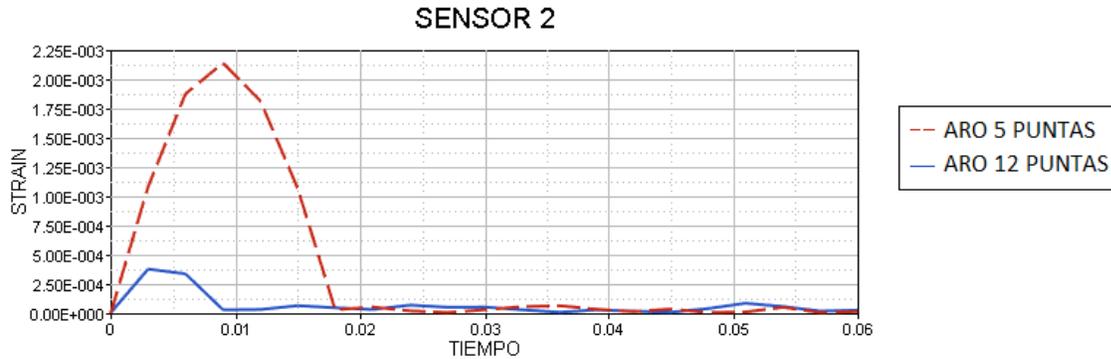


Gráfico 5.7 Esfuerzo principal Sensor 2 para las dos geometrías.

### 5.11. Conclusiones.

Para que los resultados sean lo más fiables se deben considerar las principales características físicas y mecánicas de los elementos involucrados en la simulación como son el *striker* y el aro; así como también la disposición de cada elemento, el porcentaje de absorción adecuado de la energía de impacto para la compensación de la ausencia del neumático y la velocidad en el instante de impacto.

Para una correcta selección del tamaño de la malla se debe realizar un estudio de sensibilidad en función de desplazamiento, esfuerzo máximo y número de elementos; puesto que de este dependerá la fiabilidad de los resultados.

La ubicación de los sensores fueron las mismas que las colocadas por C. L. Chang debido a que tuvo la oportunidad de realizar estudios experimentales y emularlos mediante métodos de elementos finitos, los mismo que serán la base para validar esta metodología con el nuevo diseño propuesto.

Según los resultados obtenidos en el análisis dinámico de la rueda, la prueba de impacto es un fenómeno no lineal. Se obtuvieron excelentes resultados en el análisis por el método de elementos finitos, el proceso de discretización de la malla fue fundamental, la precisión y calidad del tamaño de los elementos lo que permitió generar resultados muy cercanos a los presentados por C.L Chang.

En este tipo de simulaciones el análisis de grietas resultan bastante complejas, existen varios modelos que caracterizan la velocidad de propagación de la grieta, uno de ellos es el de Burke. Este análisis de la velocidad de propagación no se realizó en esta simulación, ya que está fuera del alcance de esta tesis, pero en un futuro se podría hacer.

#### **5.12. Referencias Bibliográficas.**

SAE (2001). Wheels-impact test procedures-road vehicles. SAE J175.

SAE (2001). Wheels-passenger car and light truck performance requirements and test procedures. SAE J328.

C.L. Chang\*, S.H. Yang. (junio 2008). *Finite element simulation of wheel impact test*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.

Ishikawa, Satoshi. (2014). *Application of Impact Analysis for Aluminum Wheel with Inflated Tire*. BBS Japan and IDAJ Co., Ltd.

Sivakrishna, V. (Diciembre 2014). *Impact Analysis of Aluminum Alloy Wheel*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research.

Wei-Chan, Chang. (Julio 2008). *Modeling for Impact Test of Aluminum Wheels*.

Jacob, Fish. (Junio 2005). *AL 6061-T6 - Elastomer Impact Simulations*.

Sunil Kumar, Bisoyi. (Abril 2015). *Analysis and Development Characterisation of Automotive Wheels*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research.

Riesner M, DeVries RI. (1983). *Finite element analysis and structural optimization of vehicle wheels*.

Raju, PR. Satyanarayana, B. Ramji, K. Babu, KS.(2007). *Evaluation of fatigue life of aluminum alloy wheels under radial loads*.

Riesner, M. Zebrowski, MP. Gavalier, RJ. (1986). *Computer simulation of wheel impact test.*

Lee, WS. Sue, WC. (2000). *The strain rate and temperature dependence of the dynamic impact properties of 7075 aluminum alloy.*

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

El estudio de Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas realizadas a la empresa de producción de aros de aluminio para implementarlos en vehículos livianos de producción en serie, permitió visualizar que es un proyecto nuevo e innovador lo cual lo catapultaría a la vanguardia del mercado local sin embargo, por este mismo motivo deberá comenzar desde cero por lo que su ingreso deberá surgir a partir de un amplio estudio del mercado para poder conocer y determinar quiénes serán sus principales clientes.

Mediante el estudio de proyección realizado a los vehículos de producción nacional tomados como referencia los veinte y cuatro meses históricos para obtener información tentativa de los siguientes dieciocho meses, se pudo estimar que este sector tiene una tendencia a la baja debido a la contracción del mercado por asuntos netamente económicos y decisiones gubernamentales. Lo cual desalienta e interés de posibles inversionistas.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los párrafos anteriores con la finalidad de determinar la factibilidad de implementar esta empresa se puede indicar que; sería viable instaurar una empresa de producción de aros de aluminio en nuestro país debido a la ausencia de la misma y a la necesidad que representa, sin embargo el enfoque de consumidores finales debería variar para que el panorama avizore el interés de posibles inversionistas siempre y cuando exista estabilidad política y financiera.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que existen estudios sobre el reciclaje del aluminio en el país según Serrano, Patiño, 2016 en el año 2015 se exportaron 8140 toneladas de este material, siendo China el principal comprador con un 41%, en el mismo año se importaron 13382 toneladas, por lo tanto de existir en el país una empresa dedicada a la purificación de este material reciclado sería el punto de partida para el impulso en la producción de partes y piezas de aluminio para el sector automotriz.

Luego de haber indicado algunos de los procesos que existen en la actualidad para la producción de aros de aluminio, algunos de ellos básicos y otros basándose en tecnología de punta, dependerá exclusivamente de la empresa el tipo de proceso a utilizar ya que de esto dependerá las líneas de producción, adquisición de equipos, instalación de maquinarias, capacitación de empleados, etc. Todos estos parámetros deben estar

debidamente controlados a fin de que el producto final cumpla con los requisitos especificados por el consumidor.

Teniendo en cuenta que el producto a comercializar es el aro de aluminio hay que hacer uso de todas las herramientas que estén al alcance para lograr eficiencia empresarial y eficacia del componente; por lo que se realizó un proceso de optimización topológica que permitió reducir la masa en un 35,24% sin comprometer su resistencia estructural conservando los estándares de calidad para una rueda de un automóvil de turismo. Por medio de un estudio de método de elementos finitos mediante el uso de software que permiten obtener resultados sin necesidad de hacerlo experimentalmente.

Todo producto de calidad necesita ser certificado para lo cual debe pasar por distintas pruebas, se realizó la prueba de impacto mediante el uso de un software de método de elementos finitos aplicando la norma SAE J175 que considera dimensiones, materiales, proceso de producción y condiciones de funcionamiento con el fin de brindar resultados semejante a los reales.

La prueba proporcionó como resultado que el esfuerzo máximo alcanzado fue de 139,8 MPa en la zona directa de impacto causando una deformación de 0,1568mm en la pestaña del aro manteniendo al resto de la estructura intacta por lo que el factor de seguridad fue de 2,34. Con lo que se puede establecer que el diseño de aro propuesto cumple a cabalidad con la prueba a la que fue sometida y puede ser puesto a la venta sin riesgo para los ocupantes.

Para validar la metodología se cotejaron los resultados de la estructura propuesta con los presentados C.L Chang, colocando dos sensores los cuales se encuentran en la misma ubicación que en el estudio en mención, al comparar las dos simulaciones se determinó en primera instancia que se pudieron replicar los resultados obtenidos por C.L Chang en su aro de cinco nervios que además fueron contrastados con ensayos experimentales, además se estableció que el aro propuesto presentó mejores resultados en la simulación es decir menores valores de deformación en los dos sensores por lo tanto el aro generado cumple con la prueba de impacto y no fallará.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AEADE (2016). Anuario setenta años de camino.

Anil Kumar, M. (2013). *Topology Optimization of Alloy Wheel*. Hyundai Motor India Engineering.

Bannantine, J. A., Handrock J. L. (1990). *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, Prentice-Hall, Inc.

Barajas, I. Gonzales, E. Solano, J. Villegas, E. (2013). *Prototipo de un rin de materiales compuestos y aluminio*. Instituto Politécnico Nacional México.

Berry J. (2015). *Casting of Metals*. Recuperado de <http://www.thermopedia.com/content/617/> (2016, Marzo 15)

Beyond magazine. (2016). *Maestros de la Forja*. Recuperado de <http://www.lexusauto.es/magazine/issue7/lab/>. (2016, Marzo 02).

Bonollo, F. Urban, J. Bonatto, B. Botter, M. (2005). *Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark*. Italia.

Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket Business Unit Diagnostics. Alemania.

C.L. Chang\*, S.H. Yang. (junio 2008). *Finite element simulation of wheel impact test*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.

Chaitanya, S. (Agosto 2015). *Mass Optimization of Automobile Wheel Rim*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT).

CINAE (2016). Boletín Estadístico N° 05 – 2015.

Comercial y Técnica del Aluminio C.A. *El proceso de fabricación*. Recuperado de <http://www.ctawheels.com/proceso/fabricacion.htm>. (2016, Enero 15)

Drukert, P. (2001). *Administración Épocas Grandes Cambios* Editor Random House Mondadori.

Duarte C., Jorge. (2003). *Planificación Estratégica*, 1º Edición, Ecuador.

Guerrero, J. (2008). *Diseño y construcción de una máquina enderezadora de aros de autos semiautomática*. Escuela Politécnica Superior de Chimborazo. Ecuador.

Ishikawa, Satoshi. (2014). *Application of Impact Analysis for Aluminum Wheel with Inflated Tire*. BBS Japan and IDAJ Co., Ltd.

Jacob, Fish. (Junio 2005). *AL 6061-T6 - Elastomer Impact Simulations*.

Lee, WS. Sue, WC. (2000). *The strain rate and temperature dependence of the dynamic impact properties of 7075 aluminum alloy*.

Mechanicatech. (2014) *Squeez casting, process description*. Recuperado de <http://www.mechanicatech.com/Casting/squeezecasting.html>. (2016, Marzo 15)

Metal Technology. (2015) *Counter pressure die casting – General Description*. Recuperado de [http://mtgbg.com/uploads/documents/page/2/Counter\\_pressure\\_die\\_casting.pdf](http://mtgbg.com/uploads/documents/page/2/Counter_pressure_die_casting.pdf). (2016, Marzo 18)

Ortolá, S. (2009) *Ingeniería de los materiales*. Recuperado de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/> (2016, Marzo 08)

Perrier, F. Desrayaud, C. Bouvier, V. (2012) *Microstructural and mechanical evolutions during the forging step of the COBAPRESS, a casting/forging process*. Recuperado de [http://www.st-ji.com/images/stories/publications\\_techniques/proceeding-icaa13-cobapress.pdf](http://www.st-ji.com/images/stories/publications_techniques/proceeding-icaa13-cobapress.pdf). (2016, Marzo 20)

Raju, PR. Satyanarayana, B. Ramji, K. Babu, KS.(2007). *Evaluation of fatigue life of aluminum alloy wheels under radial loads*.

Render, B. Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones*, 9na Edicion, Pearson, Mexico.

Riesner M, DeVries RI. (1983). *Finite element analysis and structural optimization of vehicle wheels*.

Riesner, M. Zebrowski, MP. Gavalier, RJ. (1986). *Computer simulation of wheel impact test*.

SAE (2001). *Wheels-impact test procedures-road vehicles*. SAE J175.

SAE (2001). *Wheels-passenger car and light truck performance requirements and test procedures*. SAE J328.

SAE: (2011) *Dimensions - Wheels for Demountable Rims, Demountable Rims, and Spacer Bands* SAE J851

Saint Jean Wheels. (2015). *Complete engineering service provide: Product desing*. Recuperado de [https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/foredrag/2015/stoperifoufebruar2015\\_produksjon-av-hjul-hos-saint-jean-wheels-i-hoyanger.pdf](https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/foredrag/2015/stoperifoufebruar2015_produksjon-av-hjul-hos-saint-jean-wheels-i-hoyanger.pdf). (2016, Febrero 26).

Sivakrishna, V. (Diciembre 2014). *Impact Analysis of Aluminum Alloy Wheel*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research.

Sourav, Das. (Junio 2014). *Design and Weight Optimization of Aluminium Alloy Wheel*. International Journal of Scientific and Research Publications

Sunil Kumar, Bisoyi. (Abril 2015). *Analysis and Development Characterisation of Automotive Wheels*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research.

The aluminum automotive manual. (2011). *Applications Chassis & Suspension Wheels*. Recuperado de <http://european-aluminium.eu/media/1563/aam-applications-chassis-suspension-3-wheels.pdf>. (2016, Febrero 12)

Tirerack. Wheel Tech. (2015). *Construcción del rin, aro o llanta*. Recuperado de <http://www.tirerack.com/wheels/tech/techpage.jsp?techid=90&ln=sp> (2016, Marzo 05).

Total Materia. (2013) *Tixocasting*. Recuperdo de <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=318>. (2016, Marzo 24)

Turaka V., Rao, (Octubre 2014). *Design & Optimization of a Rim Using Finite Element Analysis*. Design & Optimization of a Rim Using Finite Element Analysis.

Universidad Católica Argentina. (2008). *Estudio y ensayo de los materiales. Aluminio y sus aleaciones*. Recuperado de <https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/aluminio-y-aleaciones.pdf>. (2016, Marzo 08.)

Wang, S. Zhou, N. Qi, W. Zheng, K. (2014) *Microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy wheels prepared by thixo-forging combined with a low superheat casting process*. Institute of Metal Processing and Forming Technology, Guangdong General Research Institute of Industrial Technology. China

Wei-Chan, Chang. (Julio 2008). *Modeling for Impact Test of Aluminum Wheels*.