

DISEÑO, SELECCIÓN Y MANUFACTURA DE BUJES Y RINES EN FUNDICIÓN
DE ALUMINIO PARA SILLAS DE RUEDAS

JOHAN DAVID VILLAMIZAR MANTILLA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO, SELECCIÓN Y MANUFACTURA DE BUJES Y RINES EN FUNDICIÓN
DE ALUMINIO PARA SILLAS DE RUEDAS

JOHAN DAVID VILLAMIZAR MANTILLA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
METALURGICO

Director:

ANDRES GIOVANNI GONZALEZ HERNANDEZ

Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A José David Villamizar Vera, mi padre, un gran apoyo en todos los ámbitos de mi vida y en quien puedo confiar siempre.

A Harrison David Villamizar Mantilla, mi hermano, el mejor microbiólogo y bioanalista en proceso, una de las personas más importantes en este momento de mi vida, la persona en quien más confié y quien espero me supere en diez millones por ciento.

A Alexandra Mantilla Forero, mi madre, junto con mi hermano son las personas más importantes con las que cuento y espero contar para siempre, la razón por la cual me esfuerzo día tras día en todo lo que hago y quien me ha apoyado a seguir con mis metas, este merito no me pertenece a mi sino a ella y sin su apoyo descomunal durante toda mi vida nunca habría siquiera pensado que podría ser quien soy ahora.

GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Andrés Giovanni González Hernández por su confianza y apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Al profesor Pedro Luis Delvasto Angarita por su confianza y apoyo para la obtención de la pasantía.

A Hernan Ortiz, gerente general de MDO LTDA, por poner a mi disposición su gran conocimiento y experiencia.

A John Jairo Portilla, técnico electromecánico de Asodispie, por su gran apoyo y amistad, además de las ideas geniales que se lograron durante el tiempo que estuve en Asodispie.

A Kathe Herrera, Kathe Babativa, Catalina Cañas, Maurisio Macareo, Jerson Rueda, Jose “Chucu” Albeiro Rueda, Maria Villafrade y demás compañeros que alegraron mi paso por la universidad.

A Carlos Zafra, ingeniero metalúrgico de la UIS, viejito por su amistad y su gran apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	17
2.1 ALUMINIO	17
2.2 ALEACIONES DE ALUMINIO	17
2.3 FUNDICIÓN DE ALUMINIO.....	19
2.4 RINES DE ALUMINIO.....	20
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 DISEÑO.....	21
3.1.1 Caja del controlador.....	21
3.1.2 Bujes para pin.....	22
3.1.3 Bujes tenedor.....	22
3.1.4 Placa para asientos	23
3.1.5 Placa para el espaldar	24
3.1.6 Rines	25
3.2 SELECCIÓN.....	26
3.3 MANUFACTURA	27
3.3.2 fundición por coquilla	29
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
4.1 ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN	31
4.2 ANÁLISIS DE LAS PIEZAS	34

5. CONCLUSIONES	36
6. RECOMENDACIONES Y FUTUROS PROYECTOS	37
6.1 Recomendaciones	37
6.2 Futuros proyectos	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Designación de fundiciones de aluminio ASTM	18
Tabla 2: Propiedades teóricas requeridas por los bujes tenedor.....	23
Tabla 3: Propiedades teóricas requeridas por las placas de asientos	24
Tabla 4: Propiedades teóricas requeridas por las placas para espaldar	25
Tabla 5: Propiedades teóricas requeridas por los rines	25
Tabla 6 :Selección del material dependiendo del tipo de pieza a fabricar.	26
Tabla 7: Distribución porcentual de la aleación.....	32
Tabla 8: Propiedades mecánicas de las aleaciones	33

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 3: Grafica de tiempo de desgasificación contra disminución de defectos...34

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.	
Imagen 1: Diseño de la caja del controlador	21	
Imagen 2: Diseño del buje para pin	22	
Imagen 3: Diseño buje tenedor	22	
Imagen 4: Diseño de placa para asientos	23	
Imagen 5: Diseño placa para espaldar.....	24	
Imagen 6: Diseño de los rines	25	
Imagen 7: Materia prima	27	
Imagen 8: Coquilla de placas para asientos y espaldares	27	
Imagen 9: Molde de rin en arena	28	
Imagen 10: Rines y bujes fundidos en moldeo por arena	29	
Imagen 11: Herramientas usadas en la fundición	29	
Imagen 12: Placas de soporte	30	
Imagen 13: Metalografía del aluminio-silicio	31	
Imagen 14: Metalografía del aluminio-silicio-magnesio	32	
Imagen 15: Metalografías para comparación de la porosidad en aluminio-silicio- magnesio	33	
Imagen 16: Placas de soporte	Imagen 17: Bujes soldados.....	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: probetas de tracción.....	40
ANEXO B: probetas de tracción probadas.....	40
ANEXO C: área afectada en la prueba de tracción	41
ANEXO D: silla de ruedas para empaque	42
ANEXO E: placa para espaldar atornillada.	42
ANEXO F: placa para asiento soldada.....	43
ANEXO G: Bujes de pin soldados y pintados.....	43
ANEXO H: Caja del controlador en plástico PLA	44
ANEXO I: Diseño de coquilla para rines en SolidWorks.....	44
ANEXO J: Resultados de la prueba de tracción aluminio semipuro	45
ANEXO K: Resultados de la prueba de tracción aluminio-silicio	46
ANEXO L: Resultados de la prueba de tracción aluminio-silicio-magnesio	47
ANEXO M: Acta de vinculación MDO-UIS	48

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO, SELECCIÓN Y MANUFACTURA DE BUJES Y RINES EN FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA SILLAS DE RUEDAS*.

AUTOR: Johan David Villamizar Mantilla**

PALABRAS CLAVE: bujes, rines, colada, rechupes.

DESCRIPCIÓN: Asodispie, empresa dedicada a la fabricación de sillas de ruedas, busca reducir costos en manufactura de piezas complejas que presentan mecanizado a partir de barras de aluminio o placas de acero, tales como bujes y laminas fabricadas en torno o por corte de material, que además presentan dificultad para su instalación y su control contra la corrosión. Esta empresa, emplea un proceso de fundición de colada en arena y usa como materia prima material el sobrante en el mismo taller, buscando fabricar dichas piezas en sus instalaciones con el menor uso de procesos externos. Para el desarrollo de este proyecto se realizó un diseño y una simulación de esfuerzos de bujes y rines para sillas de ruedas destinadas a donación para niños de sectores de Colombia de bajos recursos económicos, la caja del controlador de las mismas, placas de nivel para espaldares y asientos. Usando una impresora 3D perteneciente a la misma empresa, se obtuvieron modelos para la fabricación de los moldes y la fundición de las piezas, para luego finalizar en un proceso de acabado. Dichas piezas mediante análisis metalográfico y pruebas físicas, se dedujo que poseen buenas propiedades mecánicas y de soldabilidad, reduciendo de esa manera costos de compra de materia prima, además de mecanizado complejo.

*Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales.

Director: Ph.D. Andres Giovanni González H.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN, SELECTION AND MANUFACTURE OF BUSHINGS AND WHEELS IN ALUMINUM FOUNDATION FOR WHEELCHAIRS*.

AUTHOR: Johan David Villamizar Mantilla **

KEY WORDS: hub, wheels, casting, shrinkage.

DESCRIPTION: Asodispie, a company in the manufacture of wheelchairs, seeks to reduce costs in the manufacture of complex parts that are machined from aluminum aluminium bars or steel plates, such as hubs and sheets made around or by cutting material, which also present difficulty in installation and control against corrosion. This company employs a sand casting process and uses as raw material the surplus in the same workshop, seeking to manufacture said parts in its facilities with the least use of external processes. For the development of this project was made a design and a simulation of the efforts of hubs and wheels for donation for children from low-income sectors of Colombia, the box of the controller of the same, as well as plate sheets for backs and seats was carried out. Using a 3D printer belonging to the same company models were obtained for the manufacture of the molds and the casting of the parts, and then finished in a finishing process. These parts were found by metallographic analysis and physical tests, to have good mechanical and weldability properties, thereby reducing raw material purchase costs as well as complex machining.

*Degree work

** Faculty of physicochemical engineering. School of metallurgical engineering and materials science. Director: Andrés Giovanni González H. Ph.D. professor

INTRODUCCIÓN

La empresa Asodispie, establecida en el área metropolitana, que actualmente desempeña procesos de manufactura, debe hacerse a la idea de adaptar todo su procedimiento con el fin de mejorar aspectos como la productividad, la calidad de las piezas manufacturadas y con esto llegar al objetivo de conservar y ganar más mercado, lo que llevaría a incrementar sus ganancias. Esto se logra enfatizando en la mejora de sus métodos de producción. Existen métodos de fabricación que proporcionan la calidad deseada además de un aumento de producción y reducción de costos, como son; el reemplazar los métodos de mecanizado de piezas complejas por un proceso de fundición y la selección de materia prima en áreas locales.

Dicha empresa encargada de la fabricación de piezas para sillas de ruedas mantiene este tipo de procedimientos de mecanizado de bujes complejos a partir de barras de aluminio, además de la compra de rines fabricados fuera del país. Estos procedimientos son ineficientes y generan altos costos disminuyendo la capacidad de producción de la empresa. Con el desarrollo de este trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial, se busca evaluar y ejecutar una nueva alternativa para la producción de dichos componentes en colaboración de empresas cercanas como MDO LTDA de tal forma que disminuya o se elimine el mecanizado y la importación de las partes. La alternativa se basa en elaborar estas piezas mediante la fundición en una aleación de aluminio que proporcione buenas propiedades mecánicas y un buen acabado superficial; además de aumentar la producción de las mismas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar, seleccionar y fabricar piezas para sillas de ruedas en fundición de aluminio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Diseñar y seleccionar el material usado para bujes y rines de sillas de ruedas

-Elaborar bujes y rines por un método de fundición de una aleación de aluminio

-Caracterizar y evaluar físicamente los bujes y rines obtenidos por fundición

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ALUMINIO

El aluminio es un metal color plata brillante con una alta conductividad eléctrica y buena ductilidad, además posee buena resistencia a la corrosión; gracias a que tiende a formar una capa de óxido de aluminio que impide el acceso del oxígeno al interior del mismo y proporciona, entre otras propiedades, buenas resistencias mecánicas, buena conformabilidad y es idóneo para soldadura³. Es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y el metal más encontrado en la misma, aun así, es un metal relativamente joven, aunque la vida moderna sería inimaginable sin aluminio⁴.

Siendo su principal mercado la fundición de piezas de aluminio, su aplicación inicial se encontraba limitada a piezas decorativas para el hogar, que buscaban hacer uso de su destacada relación resistencia-peso y acabado color plata, convirtiéndose de esta forma en una alternativa a la fundición de hierro⁵. Actualmente la fundición de piezas en aluminio para aplicaciones importantes en ingeniería para el sector automotriz, aeronáutico y aeroespacial, se volvió viable, debido al aprovechamiento de propiedades, como son la baja densidad (2,7 g/cm³), buena resistencia a la corrosión, buenas propiedades mecánicas y alta conductividad eléctrica¹.

2.2 ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio es un elemento compatible con múltiples aleantes, que proporcionan endurecimiento y mejoran propiedades como colabilidad y soldabilidad. Los elementos con los que esta generalmente aleado el aluminio son, entre otros, cobre, zinc, magnesio, silicio, hierro, cromo y níquel. El aluminio puro presenta baja dureza

³ · Kaufman, J. G., Roy, E. L.; & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004.pp. 1-2.

⁴ J. Gilbert Kaufman; Introduction to aluminum alloys and tempers; ASM International; 2000.pp. 8.

⁵ S. Kalpakjian., S. R. Schmid.; Manufactura, ingeniería y tecnología, quinta edición, 2008.pp. 170-171.

y resistencia a la tracción, mientras que los aleantes proporcionan las anteriores características a cambio de su resistencia a la corrosión y su ductilidad⁶. Las piezas de fundición de aluminio están restringidas a numerosos estándares y especificaciones, uno de los desarrolladores de normas y procedimientos que rigen las aleaciones de aluminio son las propuestas por ASTM. La designación utilizada por la ASTM para fundiciones de aluminio está compuesta por cuatro números separando los 3 primeros del cuarto por un punto. El primer número define el o los elementos principales con los que esta aleado (tabla 1), el segundo y tercer número designan la aleación específica (no tienen significado, pero si es único para cada aleación), y el tercero define si es una pieza fundida o por lingote (0 y 1 respectivamente)⁴.

Tabla 1: Designación de fundiciones de aluminio ASTM

Designación de fundiciones de aluminio	
1xx.x	Aluminio puro (99.00% o más)
2xx.x	Aleación aluminio-cobre
3xx.x	Aleación aluminio-silicio y cobre o magnesio
4xx.x	Aleación aluminio-silicio
5xx.x	Aleación aluminio-magnesio
6xx.x	Designación sin uso
7xx.x	Aleación aluminio-zinc
8xx.x	Aleación aluminio-estaño
9xx.x	Aleación aluminio con cualquier otro elemento

Fuente: elaboración propia.

Cada elemento proporciona características especiales, el silicio brinda una alta colabilidad lo que permite producir piezas con mayor complejidad, espesores

⁶ Kaufman, J. G., Roy, E. L.; & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004. pp.7-13.

pequeños y modelos con secciones de difícil acceso⁷. Con la adición de magnesio permite ser tratada térmicamente y mejorar la soldabilidad de la aleación y aumenta sus resistencias mecánicas⁸.

2.3 FUNDICIÓN DE ALUMINIO

El aluminio se puede moldear esencialmente por todos los procesos existentes, entre ellos destacan procesos de die casting (fundición a presión), molde permanente o coquilla y moldeo en arena o arcilla⁸. Para la selección de uno de los anteriores procesos de fundición se deben tomar en cuenta una serie de factores influyentes, empezando por el diseño de la pieza, su acabado final, espesores, resistencias mecánicas, dureza, resistencia al impacto esperadas, conductividad eléctrica y térmica, maquinabilidad, soldabilidad, resistencia a la corrosión y economía⁹.

El moldeo en arena es un proceso sencillo producido en moldes con un plano de separación horizontal (figura 1), la arena debe tener una composición y un tamaño especificados por el comité de la división de arenas AFS, y debido a su lento enfriamiento, si el modelo presenta espesores grandes se requiere el uso de mazarotas, las cuales evitan la aparición de rechupes en la pieza final¹⁰.

Otro proceso importante es la fundición por gravedad usando un molde permanente, el cual está hecho en un material que soporte temperaturas mayores a la de fusión del aluminio sin deformarse y por lo general con una separación

⁷ S. Kalpakjian., S. R. Schmid.; Manufactura, ingeniería y tecnología, quinta edición, 2008.pp. 279.

⁸ Kaufman, J. G., Roy, E. L., & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004.pp. 14.

⁹ Kaufman, J. G., Roy, E. L., & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004.pp. 21.

¹⁰ Mikel, P. Groover.; Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas.; tercera edición. 1997.pp. 214-220.

vertical (figura 2). El material usado en su mayoría de estos moldes es el acero, aunque también se pueden fabricar moldes permanentes en fundición de hierro y grafito¹¹.

2.4 RINES DE ALUMINIO

Los rines de vehículos son los elementos metálicos que se encargan de soportar el neumático para que este conserve su forma redonda durante su funcionamiento, y son de gran importancia estructural, ya que deben estar diseñados para soportar cargas estáticas y dinámicas mientras se encuentra en funcionamiento¹². Dado que las llantas son el componente que permite el movimiento de estos vehículos, sus soportes deben ser diseñados especialmente; cuidando que sus propiedades mecánicas propicien seguridad, calidad y economía. Por ello, la fundición de aluminio y sus aleaciones, son los materiales idóneos para aportar propiedades mecánicas excelentes y cumplir estas funciones de peso, resistencia mecánica, calidad y bajos costos¹³.

Múltiples pruebas son requeridas para hacer el diseño y la fabricación de los rines ya que su rendimiento ante cargas dinámicas y en especial ante impactos son las principales preocupaciones de los nuevos diseños. Estas pruebas deben cumplir con las normas internacionales, que establecen los requisitos mecánicos mínimos.

¹¹. Mikel, P. Groover.; Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas.; tercera edición. 1997.pp. 226-227.

¹². G. Moussa, J.B. Hawkyard; Investigation into the multi-stage ring rolling of aluminum bicycle wheel rims; Department of Mechanical Engineering, UMIST, P.O., University of Aleppo, Syria; 2003. pp.1

¹³ Ch. P. V. Ravi Kumar, Prof. R. Satya Meher; International journal of modern engineering research; Department of Mechanical Engineering, QIS College of Engineering & Technology, Ongole; 2013.pp.1548

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO

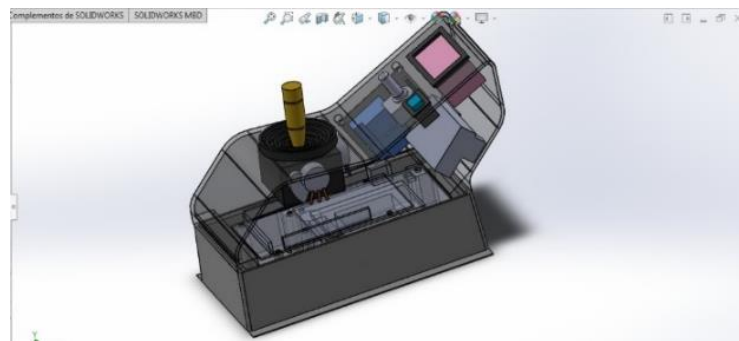
Por razones de calidad y economía, la empresa Asodispie tomó la decisión de fabricar en sus instalaciones bujes, placas y rines, reemplazo de las piezas que usualmente eran compradas a empresas del sector y eran fabricadas en acero. Como ventaja de fabricar estas piezas se disminuyó el costo económico y el peso total de las mismas, ya que se utilizó como materia prima aleaciones de aluminio, material que se caracteriza por su baja densidad¹⁴.

Utilizando el programa SolidWorks se realizó el diseño de estas piezas, para su respectivo análisis de esfuerzos en el programa ANSYS. A continuación, se muestra el diseño de los diferentes componentes fabricados para las sillas de ruedas.

3.1.1 Caja del controlador

Esta pieza tiene la función de sostener las partes electrónicas del controlador de los motores de la silla y redistribuir el calor generado por los mismos. Como el controlador no se encuentra sometido a esfuerzos mecánicos, no se realizó un análisis en ANSYS para el mismo, sin embargo, su diseño si fue elaborado en el programa SolidWorks.

Imagen 1: Diseño de la caja del controlador



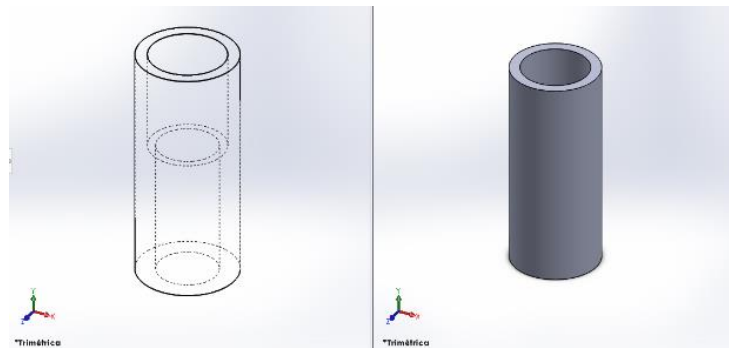
Fuente: elaboración propia.

¹⁴ Kaufman, J. G., Roy, E. L.; & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004. pp.1.

3.1.2 Bujes para pin

Esta pieza de forma cilíndrica con dos perforaciones internas de diferentes diámetros (1/8" y 3/16") tiene la función de alojar un pin de acero inoxidable de 1/8 de pulgada, que embona en las placas de nivel del asiento y del espaldar, debido a que no se encuentra sometido a grandes esfuerzos mecánicos, no se realizó un análisis en ANSYS, sin embargo, su diseño si fue elaborado el SolidWorks.

Imagen 2: Diseño del buje para pin



Fuente: elaboración propia.

3.1.3 Bujes tenedor

Esta pieza cilíndrica tiene tres perforaciones con dos diámetros diferentes (5/8" y 1") como puede observarse en la imagen 3, tiene la función de alojar dos rodamientos que permiten la movilidad completa de las ruedas de la silla, la misma requiere de 2 de estos soldados en la parte delantera y soportan entre ellos la mitad del peso total de la persona y la silla. En la imagen 3, se muestra el diseño en SolidWorks y su respectiva distribución de esfuerzos en ANSYS.

Imagen 3: Diseño buje tenedor



Izquierda: diseño en SolidWorks; Derecha: fuerzas aplicadas en ANSYS. Fuente: elaboración propia.

Se colocó el soporte para la simulación en el área soldada (morado) y se aplicó una fuerza equivalente a un cuarto del peso total del sistema (rojo). Los bujes presentan teóricamente las propiedades mostradas en la tabla 2.

Tabla 2: Propiedades teóricas requeridas por los bujes tenedor

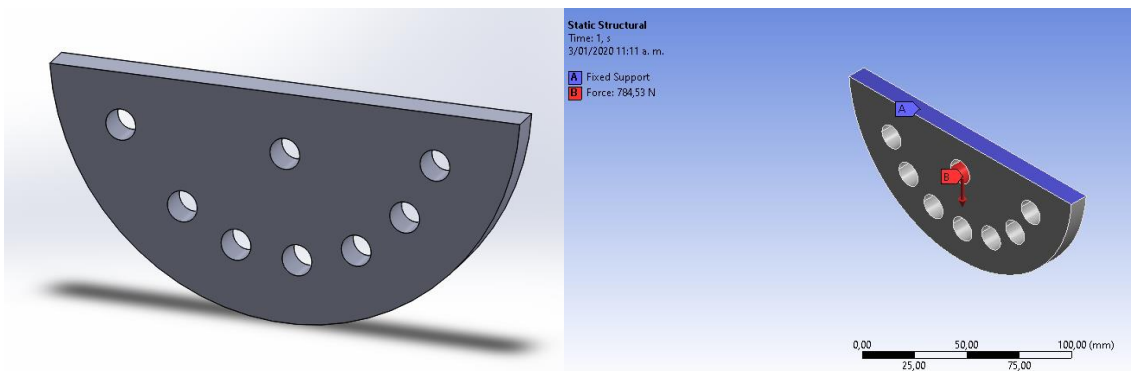
Deformación elástica (mm/mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)
$1,9 \times 10^{-5}$	3,5

Fuente: elaboración propia

3.1.4 Placa para asientos

Esta pieza plana semicircular con 5 orificios dispuestos en un mismo arco de circunferencia, como se muestra en la imagen 4, cuya función es de proveer varios niveles de inclinación y altura al asiento de la silla. La misma requiere de dos placas soldadas a cada lado del asiento y soportan el peso del usuario junto con el del espaldar de la silla. En la imagen 4 se muestra el diseño en SolidWorks y su respectiva distribución de esfuerzos en ANSYS.

Imagen 4: Diseño de placa para asientos



Izquierda: diseño en SolidWorks; Derecha: fuerzas aplicadas en ANSYS. Fuente: elaboración propia

Colocando el soporte en el área que será soldada (azul) y aplicando una fuerza equivalente a la mitad del peso del usuario, del asiento y espaldar, sobre el soporte del

asiento (rojo). Las láminas presentan teóricamente las propiedades mostradas en la tabla 3:

Tabla 3: Propiedades teóricas requeridas por las placas de asientos

Deformación elástica (mm/mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)
$5,4 \times 10^{-5}$	10,9

Fuente: elaboración propia

3.1.5 Placa para el espaldar

Esta pieza con forma redonda, cuenta con cuatro orificios dispuestos en un mismo arco de circunferencia además de otros dos orificios de sujeción por tornillería, como se muestra en la imagen 5. Su función es proveer al espaldar diferentes niveles de inclinación para comodidad, la misma requiere de dos placas atornilladas al marco del asiento y deben soportar tanto el peso del espaldar como de la mitad superior del cuerpo del usuario. En la imagen 5 se muestra el diseño en SolidWorks y su respectiva distribución de esfuerzos en ANSYS.

Imagen 5: Diseño placa para espaldar



Derecha: Diseño en SolidWorks; izquierda: fuerzas aplicadas en ANSYS. Fuente: elaboración propia.

Se aplicó el soporte en el tornillo de sujeción dos fuerzas en los pivotes. Las placas para espaldar presentan teóricamente las propiedades mostradas en la tabla 4:

Tabla 4: Propiedades teóricas requeridas por las placas para espaldar

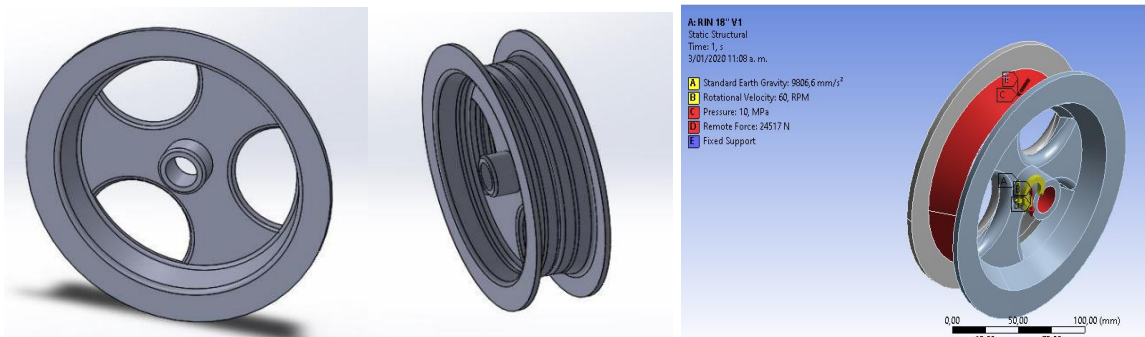
Deformación elástica (mm/mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)
$7,2 \times 10^{-5}$	4,2

Fuente: elaboración propia

3.1.6 Rines

Los rines son piezas conformadas por dos partes circulares similares contrapuestas y atornilladas, cuya función es sujetar la llanta de caucho, soportar el peso total de la silla y proporcionar movilidad a la misma. El peso total de la silla y el usuario, se distribuye en dos rines y dos ruedas delanteras. En la imagen 6 se muestra el diseño en SolidWorks y su respectiva distribución de esfuerzos en ANSYS.

Imagen 6: Diseño de los rines



Izquierda: diseño en SolidWorks; Derecha: fuerzas aplicadas en ANSYS. Fuente: elaboración propia

Se adaptó el soporte bajo el rin en la unión con la llanta y se aplicó un cuarto del peso total sobre su eje, un momento de rotación y una presión sobre la llanta. Los rines presentan teóricamente las propiedades mostradas en la tabla 5:

Tabla 5: Propiedades teóricas requeridas por los rines

Deformación elástica (mm/mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)
$7,2 \times 10^{-5}$	4,2

Fuente: elaboración propia

3.2 SELECCIÓN

Se seleccionaron tres tipos de aleaciones de aluminio, con facilidad de obtención de sus componentes, y características de resistencia mecánica y soldabilidad idóneas para la fabricación de los rines, bujes y placas, implementados en las sillas de ruedas como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 :Selección del material dependiendo del tipo de pieza a fabricar.

Pieza	Resistencia mecánica (Mpa)	Soldabilidad	Material *	Método**
Caja del controlador	No requiere	No	A	I
Bujes pin	No requiere	Si	C	I
Bujes tenedor	3,5	Si	C	I
Placa asiento	10,9	Si	C	II
Placa espaldar	4,2	No	B	II
Rines	4,2	Si	C	I

*A: Aluminio semipuro; B: Aluminio-silicio; C: Aluminio-silicio-magnesio.

**I: Fundición en arena en verde; II: Fundición en coquilla.

Fuente: elaboración propia

Las aleaciones seleccionadas fueron: aluminio semipuro (A): aluminio procedente de tubería y láminas de aluminio puro utilizado en la fabricación del marco de las sillas de ruedas; aluminio-silicio (B): una combinación del aluminio semipuro usado anteriormente con piezas de fundición de aluminio con aproximadamente 15% en silicio con el fin de obtener una aleación con 8% en silicio; Aluminio-silicio-magnesio (C): obtenido de aluminio fundido usado en rines de autos obtenido de una chatarrería combinado con aleación de aluminio-silicio (Al-Si7)¹⁵.

¹⁵ Lina M. Sánchez; Sandra E. Oyuela., Universidad Nacional de Colombia; Estudio De Las Variables De Proceso En El Envejecimiento De Rines De Aluminio (Aleación Al Si 7) En La Empresa Madeal S.A. 2003 pp.30-35

Imagen 7: Materia prima



Fuente: elaboración propia

Se usaron dos métodos de fundición debido a la facilidad de trabajo y obtención de piezas, a saber, fundición en arena verde (I), usando arena de sílice y bentonita de marca comercial Bentocol; Fundición en coquilla (II), fabricando el molde permanente en láminas de acero HRLA obtenidas y cortadas en la empresa Todo bronces.

Imagen 8: Coquilla de placas para asientos y espaldares



Fuente: elaboración propia

Todas las aleaciones fabricadas en este proyecto fueron evaluadas mediante metalografía y ensayos mecánicos (tracción).

3.3 MANUFACTURA

Para la manufactura de las piezas antes mencionadas, se fabricó un horno de crisol de un metro de altura y 60cm de diámetro, se usaron ladrillos refractarios, una carcasa metálica y como combustible se empleó gas natural y aceite para

motor, además se fabricó un crisol de acero de 4 kilogramos de capacidad, para disminuir la porosidad de las piezas, se implementó una lanza para inyección de argón¹⁶. El horno y las demás herramientas implementadas fueron fabricadas en esta práctica.

3.3.1 Fundición en arena verde

En esta etapa del proceso productivo, se usó arena de sílice fina y bentonita sódica en una proporción de 20% arcilla, combinada con agua hasta formar una mezcla firme y que produzca una superficie limpia, esta arena es conocida como arena de contacto; Para evitar un gasto innecesario de arena de contacto se empleó como arena de relleno una mezcla de arena de río y arcilla roja extraída en los mismos predios de Asodispie, adicionada con arena de contacto quemada en anteriores fundiciones. Para la fabricación de machos, a la arena de contacto se le agregó silicato sódico y gas carbónico (CO₂).

Imagen 9: Molde de rin en arena



Fuente: elaboración propia

Las piezas fabricadas por este método fueron los bujes en general y los rines, como se demuestra en la tabla 2.

¹⁶ · Fabian, J, Porras R, German, R, Vergara, G.; Estudio del proceso de moldeo en coquilla por presión para fabricación de piezas decorativas en la empresa Fantaxias LTDA, Universidad Industrial de Santander, 2010.pp.69-70.

Imagen 10: Rines y bujes fundidos en moldeo por arena



Fuente: elaboración propia

Además, para el moldeo se fabricaron cajas de madera y metálicas además de una cuchara para retirar escoria, una tenaza para sacar el crisol y una lanza de acero inoxidable para la inyección de argón al baño metálico.

Imagen 11: Herramientas usadas en la fundición



Fuente: elaboración propia

3.3.2 fundición por coquilla

Para esta etapa de producción, se fabricó una coquilla metálica en acero HRLA (high resistance low alloy; alta resistencia baja aleación). Usando dos láminas de 9 mm y una de 6 mm de espesor, en las cuales se adaptó cortes con las formas de

las placas a fabricar, como se muestra en la imagen 8. Las piezas que se fabricaron por este método fueron las placas de nivel.

Imagen 12: Placas de soporte



Fuente: elaboración propia

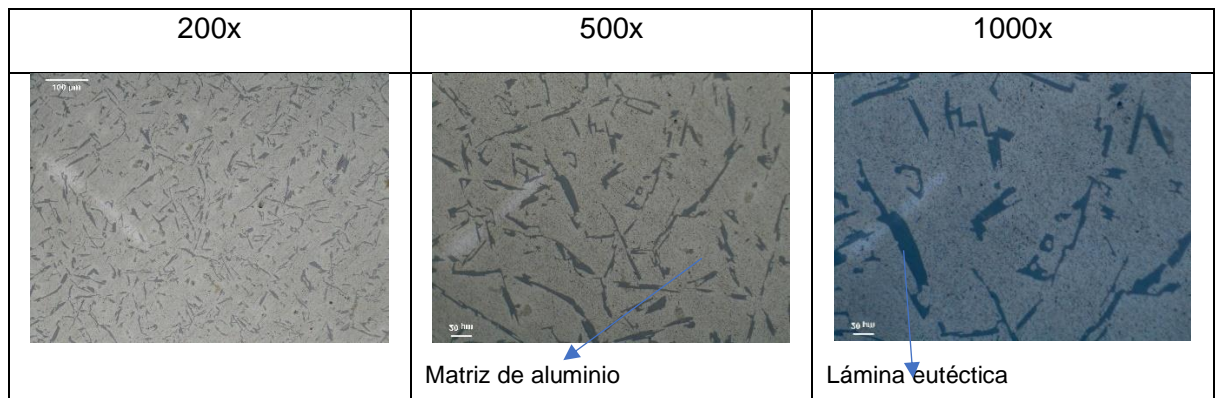
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizó la microestructura de la aleación obtenida y sus propiedades mecánicas, luego a los dispositivos se les evaluó su facilidad de adaptación a la estructura de la silla, ya sea siendo soldadas o atornilladas, esto debido que son los criterios de mayor relevancia que influyen en la creación de las mismas. Para ello se fabricaron tres probetas de tracción usando la norma ASTM E557-15¹⁷ con las tres aleaciones creadas y 5 probetas para metalografía.

4.1 ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN

Se realizó un análisis metalográfico para identificar la distribución del silicio y el magnesio en el aluminio como se puede observar en la imagen 13.

Imagen 13: Metalografía del aluminio-silicio



Fuente: elaboración propia

Las propiedades que proporciona el silicio en el aluminio se controlan mediante el enfriamiento de la fase beta (eutéctico), modificando su tamaño y forma de

¹⁷ ASTM B557-15 Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products

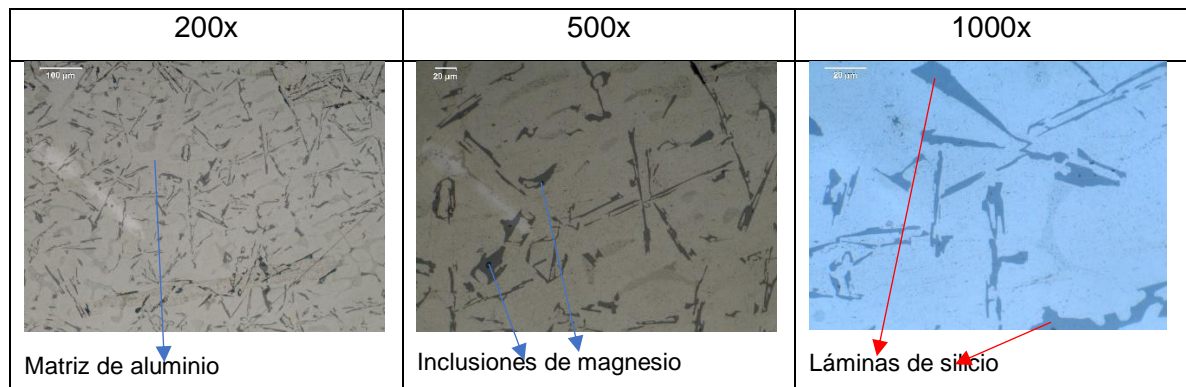
grano¹⁸. En el caso del aluminio-silicio se observa la generación de láminas de silicio distribuidas sobre una matriz de aluminio, y utilizando el software Digimizer se analizó el porcentaje de eutéctico (87,4%aluminio 12,6%silicio)¹⁹ formado y la cantidad de silicio en el material

Tabla 7: Distribución porcentual de la aleación

Aluminio (%)	Eutéctico [87,4%aluminio 12,6%silicio] (%)	Silicio (%)
92,5	59,3	7,5

Fuente: elaboración propia

Imagen 14: Metalografía del aluminio-silicio-magnesio



Fuente: elaboración propia

En el caso de la aleación, aluminio-silicio-magnesio, como se puede observar en la imagen 14, presenta la segregación de pequeñas inclusiones metálicas de la combinación de la aleación con el magnesio, encontradas en las láminas de silicio²⁰.

¹⁸ . Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, Wendelin J Wright.; Ciencia e ingeniería de materiales, sexta edición.; 2004.pp. 544-545.

¹⁹ Fabian, J, Porras R.; German, R, Vergara, G.; Estudio del proceso de moldeo en coquilla por presión para fabricación de piezas decorativas en la empresa Fantaxias LTDA , Universidad Industrial de Santander, 2010.pp.79-80.

²⁰ Kaufman, J. G., Rooy, E. L.; & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004.pp.14.

Mediante el ensayo de tracción, usando la norma ASTM E8²¹ y la maquina SHIMADZU TYPE SFL-250KNAG, se obtuvieron las características mostradas en la tabla 8.

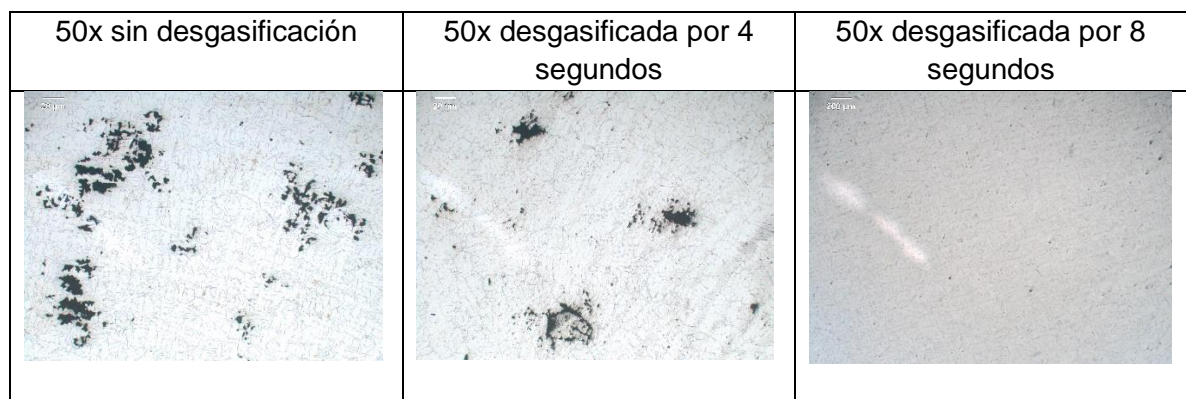
Tabla 8: Propiedades mecánicas de las aleaciones

Aleación	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Deformación elástica (%)
Aluminio semipuro	47,20	174,69	14,32
Aluminio-silicio	42,04	87,55	5,44
Aluminio-silicio-magnesio	54,54	79,84	3,02

Fuente: elaboración propia

Comparando los resultados obtenidos con el análisis realizado previamente mediante el software ANSYS se concluyó que las aleaciones son ideales para su respectivo uso propuesto en la tabla 2, otorgando un factor de seguridad mínimo de 4,98. Mediante un análisis metalográfico usando una modificación de la norma ASTM E112²² se pudo observar el efecto sobre la porosidad, obtenido usando la lanza de argón.

Imagen 15: Metalografías para comparación de la porosidad en aluminio-silicio-magnesio

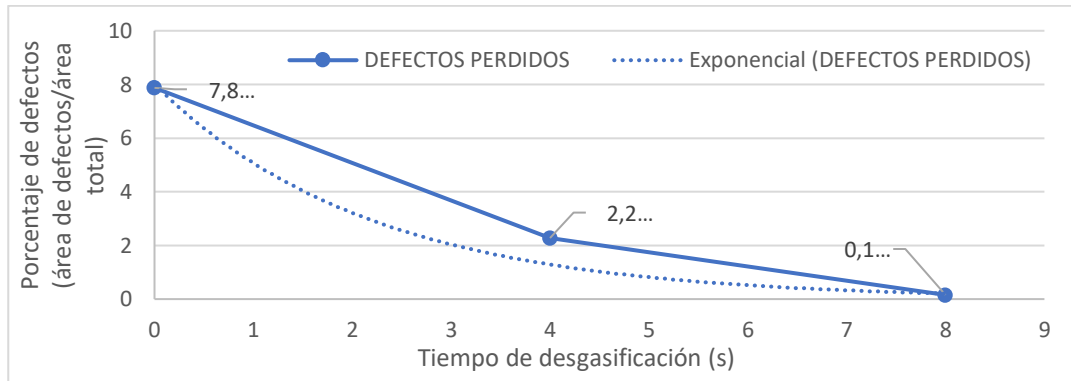


fuentes: elaboración propia

²¹ ASTM E8 / E8M - 16^a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

²² ASTM E112-13 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size

Figura 1: Grafica de tiempo de desgasificación contra disminución de defectos



Fuente: elaboración propia

Como se observa la imagen 15, el proceso de desgasificación usando el método de lanza sumergida y el gas argón tuvo efectos positivos en la disminución de defectos en el material²³. Usando el software Digimizer se obtuvo una aproximación al efecto del tiempo de desgasificación contra la cantidad de defectos presenciados en el material

4.2 ANÁLISIS DE LAS PIEZAS

Las piezas fabricadas por fundición en arena no presentan un buen acabado superficial, por lo que se requirió un proceso de acabado como se puede notar en la imagen 10.

Por el contrario, las piezas fabricadas por el método de coquilla presentaron una calidad aceptable, por lo cual no fue requerido ningún proceso de acabado sobre las mismas como se presencian en la imagen 16 y 17.

²³ Fabian, J, Porras R,; German, R, Vergara, G.; Estudio del proceso de moldeo en coquilla por presión para fabricación de piezas decorativas en la empresa Fantaxias LTDA , Universidad Industrial de Santander, 2010.pp.69-70.

Imagen 16: Placas de soporte



Imagen 17: Buje soldado.



Fuente: elaboración propia

El montaje de las piezas fue sencillo, debido a que ellas permitieron ser soldadas por el método de TIG (tungsten inert gas) con facilidad y sin presentar defectos visibles en el cordón de soldadura.

Como última prueba y antes de su respectiva entrega, debido a que los usuarios de las sillas de ruedas no superan la mayoría de edad ni los 60 kilogramos, se probó las sillas por una persona de 90 kg durante una jornada de 8 horas seguidas empezando a las 8 am y finalizando a las 6 pm, las cuales no presentaron ningún problema o conflicto en su uso.

5. CONCLUSIONES

Mediante el uso del programa de diseño SolidWorks se crearon en total el diseño de una pieza nueva para la empresa (caja del controlador) y tres modificaciones de piezas fabricadas anteriormente por empresas ajenas a Asodispie en acero (rines, placa para asiento y placa para espaldar).

Se fabricaron dos tipos de aleaciones (aluminio-silicio y aluminio-silicio-magnesio) que, analizadas por el ensayo de tracción (ANEXO A, B, C), cumplieron con las necesidades encontradas por medio del programa de simulación de esfuerzos ANSYS con un factor de seguridad de 4.98.

Se modificó el proceso de fabricación de bujes, que anteriormente fueron hechos a partir de barras de aluminio por medio de mecanizado en torno convencional y en empresas ajenas a Asodispie, por un proceso de fundido en arena verde más un rectificado mejorando su acabado superficial, obteniendo de esta manera piezas con buenas propiedades mecánicas en sus propias instalaciones.

Las piezas fabricadas en este proyecto presentaron facilidad al momento de su instalación, ya sea por soldadura o por sujeción por tornillos (ANEXO D, E, F Y G), además de presentar buen rendimiento ante el esfuerzo realizado como prueba final antes de su respectiva entrega.

El gas argón produjo una reducción del 7.7% de defectos por área total al 0.1% al fundir las piezas, produciendo los mejores resultados a un tiempo de 8 segundos de burbujeo, y estableciendo el límite de tiempo usado para la desgasificación.

6. RECOMENDACIONES Y FUTUROS PROYECTOS

6.1 Recomendaciones

- Implementar un tratamiento térmico que mejore las propiedades de las aleaciones fabricadas en este proyecto.
- Implementar nuevas aleaciones que proporcionen mejores resultados que los obtenidos anteriormente.
- Realizar una comparación de los resultados que pueda proporcionar el gas de nitrógeno en comparación con el gas argón usado durante este proyecto.
- Implementar un proceso nuevo de fundición de aluminio para piezas que requieran alta precisión (fundición por cera perdida).

6.2 Futuros proyectos

- Diseño de nuevos tipos de cajas de controlador y rines con diferentes formas que proporcionen una mejor calidad.
- Implementar la coquilla diseñada en SolidWorks y fabricada en acero 1045 para los rines ANEXO I.
- Fabricar un soporte para ruedas frontales para sillas de ruedas deportivas.
- Fabricar piezas de decoración (Opcional).

BIBLIOGRAFÍA

ASTM B557-15 Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products

ASTM E8/E8M-16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

ASTM E112-13 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size

Ch. P. V. Ravi Kumar, Prof. R. Satya Meher; International journal of modern engineering research; Department of Mechanical Engineering, QIS College of Engineering & Technology, Ongole; 2013.

Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, Wendelin J Wright.; Ciencia e ingeniería de materiales, sexta edición.; 2004

Groover Mikel, P; Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas.; tercera edicion. 1997.

Kaufman, J. G., Rooy, E. L.; & American Foundry Society.; Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, OH: ASM International.; 2004.pp. 1-2.

Kaufman J. Gilbert; Introduction to aluminum alloys and tempers; ASM International; 2000.

Kalpakjian. S. Schmid. S. R; Manufactura, ingeniería y tecnología, quinta edición, 2008.

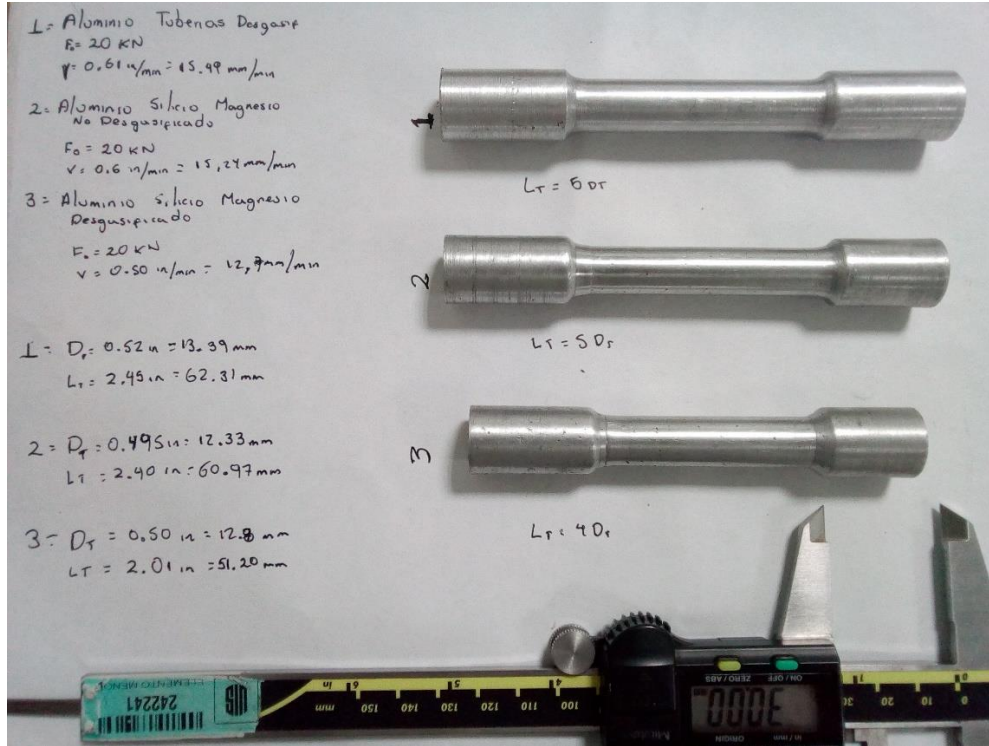
Moussa G Hawkyard J.B; Investigation into the multi-stage ring rolling of aluminium bicycle wheel rims; Department of Mechanical Engineering, UMIST, P.O., University of Aleppo, Syria; 2003.

Porras R. Fabian, J; Vergara, G German, R; Estudio del proceso de moldeo en coquilla por presión para fabricación de piezas decorativas en la empresa Fantaxias LTDA , Universidad Industrial de Santander, 2010.

Sánchez Lina M; Oyuela Sandra E, Universidad Nacional de Colombia; Estudio De Las Variables De Proceso En El Envejecimiento De Rines De Aluminio (Aleación Al Si 7) En La Empresa Madeal S.A. 2003

ANEXOS

ANEXO A: probetas de tracción



ANEXO B: probetas de tracción probadas





1. Aleación de aluminio semipuro
2. Aleación aluminio-silicio
3. Aleación aluminio-silicio-magnesio

ANEXO C: área afectada en la prueba de tracción



4. Aleación de aluminio semipuro
5. Aleación aluminio-silicio
6. Aleación aluminio-silicio-magnesio

ANEXO D: silla de ruedas para empaque



ANEXO E: placa para espalda atornillada.



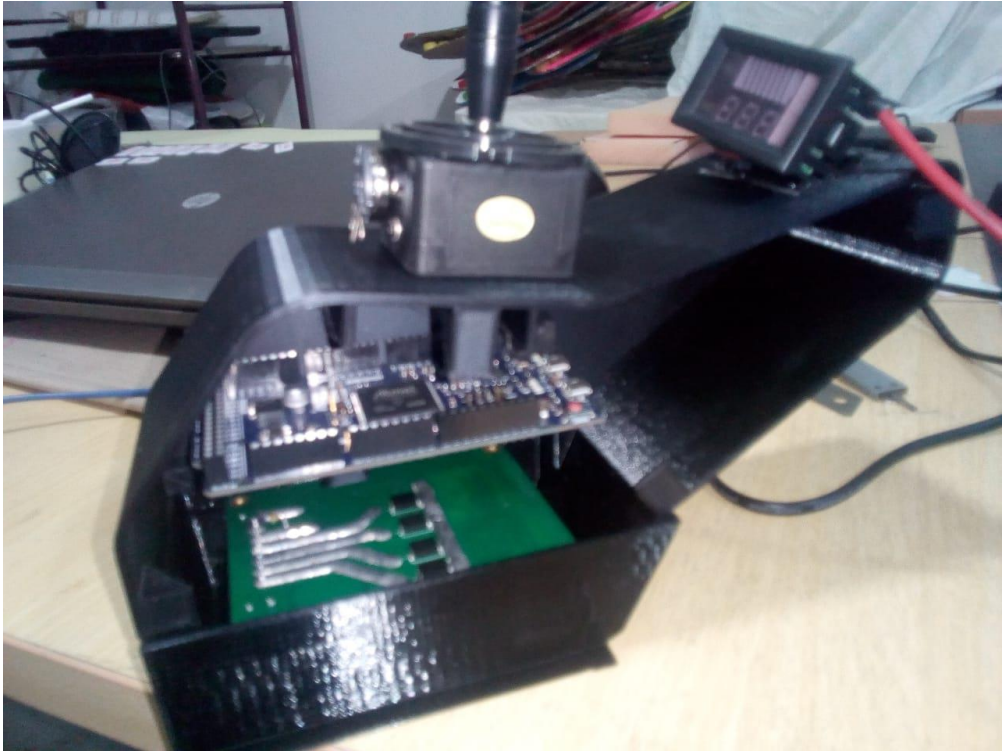
ANEXO F: placa para asiento soldada



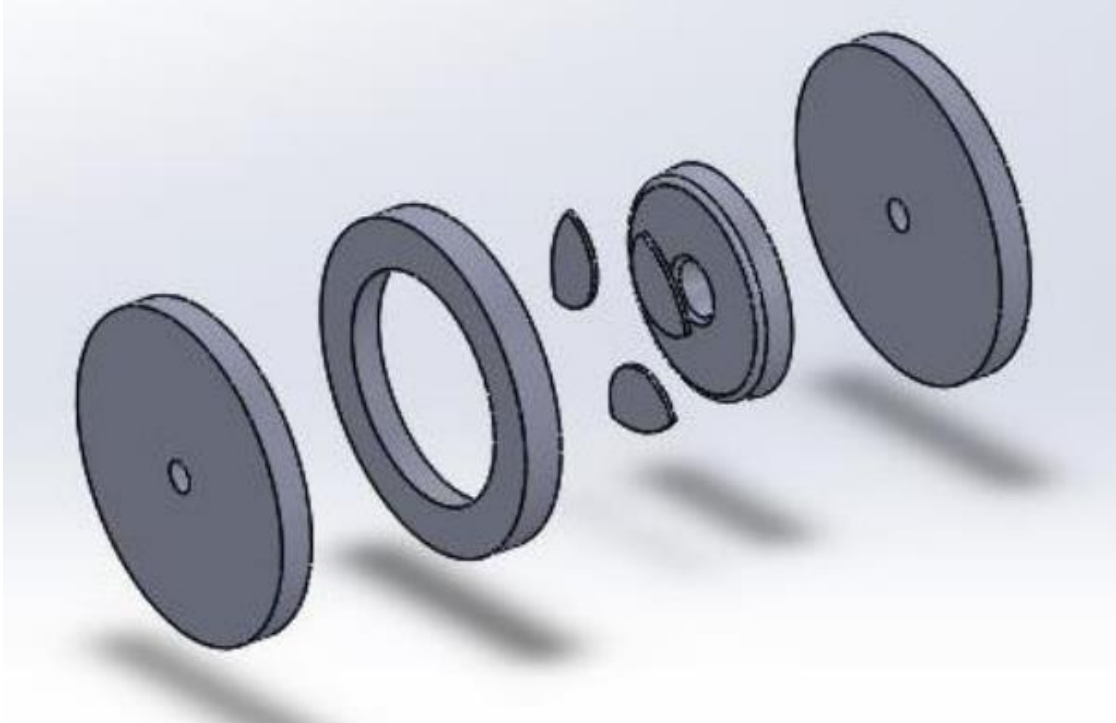
ANEXO G: Bujes de pin soldados y pintados



ANEXO H: Caja del controlador en plástico PLA



ANEXO I: Diseño de coquilla para rines en SolidWorks



ANEXO J: Resultados de la prueba de tracción aluminio semipuro

Al-Baja Aleación

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo		Nombre de metodo de ensayo	Al-B.xmak
Fecha de informe	12/12/2019	Fecha de ensayo	12/12/2019
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Cilindrica
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	CASE1_Fuerza	CASE1_Tension	Pico1_Fuerza	Pico1_Tension
Parametros	Desplazamiento 1 mm	Desplazamiento 1 mm		
Unidad	kN	N/mm2	kN	N/mm2
1_1	6,64704	47,2039	--	--
Media	6,64704	47,2039	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	Pico1_Desplazamiento	Pico1_Deformacion	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros			Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	--	--	24,5996	174,694
Media	--	--	24,5996	174,694
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	--	--	0,00000	0,00000

Nombre	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	8,92350	14,3211	12,6733	89,9995
Media	8,92350	14,3211	12,6733	89,9995
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	LE1_Fuerza	LE1_Tension
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	15,8129	25,3778	--	--
Media	15,8129	25,3778	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	LE1_Desplazamiento	LE1_Deformacion
Parametros	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%
1_1	--	--
Media	--	--
Desviacion Estandar	--	--
Rango	--	--

ANEXO K: Resultados de la prueba de tracción aluminio-silicio

Al-Si

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo		Nombre de metodo de ensayo	Al-Si.xmak
Fecha de informe	12/12/2019	Fecha de ensayo	12/12/2019
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Cilindrica
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	CASE1_Fuerza	CASE1_Tension	Pico1_Fuerza	Pico1_Tension
Parametros	Desplazamiento 1 mm	Desplazamiento 1 mm		
Unidad	kN	N/mm2	kN	N/mm2
1_1	5,41021	42,0440	--	--
Media	5,41021	42,0440	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	Pico1_Desplazamiento	Pico1_Deformacion	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros			Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	--	--	11,2660	87,5507
Media	--	--	11,2660	87,5507
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	--	--	0,00000	0,00000

Nombre	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	2,78752	5,44438	10,9400	85,0170
Media	2,78752	5,44438	10,9400	85,0170
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	LE1_Fuerza	LE1_Tension
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	2,81284	5,49384	--	--
Media	2,81284	5,49384	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	LE1_Desplazamiento	LE1_Deformacion
Parametros	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%
1_1	--	--
Media	--	--
Desviacion Estandar	--	--
Rango	--	--

ANEXO L: Resultados de la prueba de tracción aluminio-silicio-magnesio

Al-Si-NO

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo		Nombre de metodo de ensayo	Al-Si-NO.xmak
Fecha de informe	12/12/2019	Fecha de ensayo	12/12/2019
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Cilindrica
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	CASE1_Fuerza	CASE1_Tension	Pico1_Fuerza	Pico1_Tension
Parametros	Desplazamiento 1 mm	Desplazamiento 1 mm		
Unidad	kN	N/mm2	kN	N/mm2
1_1	6,51283	54,5449	--	--
Media	6,51283	54,5449	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	Pico1_Desplazamiento	Pico1_Deformacion	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros			Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	--	--	9,53360	79,8438
Media	--	--	9,53360	79,8438
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	--	--	0,00000	0,00000

Nombre	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Calo. at Entire Areas	Calo. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	1,84481	3,02577	9,21396	77,1668
Media	1,84481	3,02577	9,21396	77,1668
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	LE1_Fuerza	LE1_Tension
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%	kN	N/mm2
1_1	1,87551	3,07612	--	--
Media	1,87551	3,07612	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	--	--

Nombre	LE1_Desplazamiento	LE1_Deformacion
Parametros	0,2 %	0,2 %
Unidad	mm	%
1_1	--	--
Media	--	--
Desviacion Estandar	--	--
Rango	--	--



Vigilada Mineducación

Universidad Industrial de Santander

CONVENIO DE APOYO INTERINSTITUCIONAL PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EMPRESARIALES COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO CELEBRADO ENTRE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Y MDO LTDA.

Entre los suscritos a saber, por una parte, **MDO LTDA.** con NIT 804.003.015-0, la cual fue constituida mediante matrícula mercantil N° 05-058651-03 representada en este acto por su gerente general **HERNAN ORTIZ BAYONA**, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía número 91.242.369 expedida en Bucaramanga, todo lo cual consta en el certificado de existencia y representación expedido por la Cámara de Comercio de BUCARAMANGA, copia de la cual se adjunta, empresa que en adelante y para todos los efectos del presente documento se denominará **MDO LTDA.** y por la otra, la Universidad Industrial de Santander, ente universitario autónomo del orden departamental, creada mediante Ordenanzas 41 de 1940 y 83 de 1944 de la Asamblea Departamental de Santander, reglamentada por el Decreto 1300 de Junio 30 de 1982 de la Gobernación de Santander, Institución de Educación Superior reconocida por el Ministerio de Educación Nacional mediante Decreto 583 de 25 de Febrero de 1947, con NIT. 890.201.213-4 y domicilio principal en la ciudad de Bucaramanga, representada en el presente acto por la Directora de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, identificado(a) con cédula de ciudadanía No. 63.368.120 expedida en Bucaramanga, todo lo cual consta en la Resolución de nombramiento No. 851 del 15 de abril de 2016 y en el acta de posesión No 5189 del 19 de abril de 2016, facultada para suscribir el presente convenio en virtud de la Resolución de Rectoría No. 2280 del 13 de octubre de 2015, entidad que en adelante y para todos los efectos del presente documento se denominará **LA UNIVERSIDAD** hemos convenido en celebrar el presente **CONVENIO DE APOYO INTERINSTITUCIONAL PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EMPRESARIALES COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO**, que se registrará por las siguientes cláusulas:

CLÁUSULA PRIMERA. OBJETO: El presente convenio tiene como objeto establecer las bases de cooperación entre **MDO LTDA.** y **LA UNIVERSIDAD** para el desarrollo integrado de un programa de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado, con el fin de proporcionar a **LA UNIVERSIDAD** espacios de práctica para la mejor formación profesional de sus estudiantes, acorde con los conocimientos, habilidades y destrezas de los mismos.

CLÁUSULA SEGUNDA. NATURALEZA DEL CONVENIO: El presente convenio es de carácter eminentemente académico. Por lo tanto, la modalidad de vinculación de los estudiantes no generará ningún tipo de relación laboral o solidaridad entre **MDO LTDA.** y **LA UNIVERSIDAD**. Así mismo, el uso de la imagen corporativa, no implica la asunción de obligaciones solidadas entre las partes.

CLÁUSULA TERCERA. COMPROMISOS DE LAS PARTES: En virtud del presente convenio las partes adquieren los siguientes compromisos:

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9
Apartado Aéreo 678 PBX: (7) 6344000
Bucaramanga, Colombia. www.uis.edu.co





Vigilada Mineducación

Universidad
Industrial de
Santander

- 3.1 De **LA UNIVERSIDAD**:
- 3.1.1 Preseleccionar a los estudiantes que aspiren a ser practicantes en **MDO LTDA.**, de conformidad con las necesidades de la misma, señaladas previamente en un documento al inicio de cada uno de los periodos de práctica.
 - 3.1.2 Presentar los aspirantes preseleccionados a **MDO LTDA.** con al menos treinta (30) días de anticipación al inicio del periodo de práctica.
 - 3.1.3 Asignar el número de estudiantes por semestre académico que sea requerido por **MDO LTDA.**
 - 3.1.4 Suscribir directamente con los estudiantes seleccionados por **LA UNIVERSIDAD** y aprobados por **MDO LTDA.**, un acta de compromiso en donde se determinen de manera específica las actividades a realizar durante el periodo de práctica, su término de duración y las obligaciones que contrae en virtud del mismo, documento que se anexa y hace parte integral del presente convenio.
 - 3.1.5 Garantizar mediante la firma del acta de compromiso por parte del estudiante, la Universidad y la empresa, la permanencia de los estudiantes en práctica en el número asignado y durante la totalidad del periodo de práctica. En caso de que fuere necesario realizar una sustitución del estudiante esta obligación se condicionará a la existencia de estudiantes habilitados para realizar las mismas labores asignadas en cumplimiento de los requisitos exigidos por **MDO LTDA.** La ausencia de estudiantes o la inexistencia de espacios para su ubicación en la práctica, no generará la terminación del presente convenio, sino la suspensión del mismo, hasta que sea factible reiniciarlo con nuevos estudiantes o nuevos espacios de práctica.
 - 3.1.6 Informar a **MDO LTDA.** cualquier modificación en el plan de estudios de los estudiantes que afecte el desarrollo de la práctica, con al menos treinta (30) días de anticipación a la fecha en que dichas modificaciones sean aplicables.
 - 3.1.7 Supervisar el desarrollo de las prácticas convenidas, garantizando los derechos de los estudiantes sobre la producción intelectual derivada de la práctica que desarrollan.
 - 3.1.8 Asignar director de trabajo de grado para cada practicante, quien deberá orientar y apoyar su desempeño procurando la efectividad en el desarrollo de las actividades que están bajo su responsabilidad.
 - 3.1.10. El Director de Escuela reportará a bienestar universitario el listado de los estudiantes que se van a práctica, según la normatividad vigente y para los fines internos de la Universidad
 - 3.1.11. La Universidad garantizará en caso de requerirse y previa autorización del Director de Escuela, el desplazamiento del director de trabajo de grado a las instalaciones de **MDO LTDA.**, en caso de que las mismas se encuentren fuera del área metropolitana de Bucaramanga y dentro del territorio colombiano, según lo convenido con esta última.
 - 3.1.12 Las demás que se deriven del desarrollo del presente convenio.
- 3.2 De **MDO LTDA.**
- 3.2.1 Informar a **LA UNIVERSIDAD** con anterioridad al inicio de las actividades propias de la práctica, que en todo caso estarán encaminadas a la mejor formación profesional del estudiante en práctica, el número de estudiantes que requiera para cada semestre académico, así como los requisitos mínimos que deben cumplir los aspirantes por medio de documento escrito, correo electrónico o a través del portal CUEES.

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9
Apartado Aéreo 678 PBX: (7) 6344000
Bucaramanga, Colombia. www.uis.edu.co





- 3.2.2 Seleccionar los estudiantes que realizarán las prácticas empresariales, como modalidad de trabajo de grado de los estudiantes preseleccionados presentados por LA UNIVERSIDAD.
 - 3.2.3 Facilitar al estudiante todos los medios para que reciba formación profesional metódica y completa en los términos de la práctica convenida.
 - 3.2.4 Nombrar un profesional de LA EMPRESA que actúe como tutor del estudiante durante el desarrollo de la práctica convenida.
 - 3.2.5 Realizar la evaluación de desempeño de los estudiantes en los términos solicitados por LA UNIVERSIDAD.
 - 3.2.6 Permitir a LA UNIVERSIDAD realizar la comprobación directa de las actividades realizadas por los estudiantes por medio de visitas físicas a las instalaciones y demás lugares en donde estas se desarrollen. Así mismo, facilitar al estudiante la disposición de los tiempos programados con el Director del trabajo de grado para las sesiones de consulta, asesoría o seguimiento.
 - 3.2.7 Asignar a los estudiantes la realización de actividades directamente relacionadas con el objeto propio del programa académico que adelanten, en concordancia con las directrices trazadas por LA UNIVERSIDAD en este sentido.
 - 3.2.8 Hacer una inducción y orientación; así como prestar el entrenamiento y supervisión requeridos para el desarrollo de las tareas que le sean asignadas.
 - 3.2.9 Expedir el correspondiente documento de identificación interna al estudiante en práctica.
 - 3.2.10 Informar a LA UNIVERSIDAD cualquier novedad o eventualidad que se presente relacionada con los estudiantes en el desarrollo de las actividades que les han sido asignadas.
- 3.2.11. Las demás que se deriven del desarrollo del presente convenio.

CLÁUSULA CUARTA. SUPERVISIÓN: LA UNIVERSIDAD, a través del Comité de trabajos de grado de la Escuela respectiva, verificará periódicamente el cumplimiento de las labores encomendadas a los practicantes, para lo cual **MDO LTDA.** brindará toda la colaboración que sea requerida.

CLÁUSULA QUINTA. DURACIÓN DE LA PRÁCTICA: La duración de cada práctica será la convenida por las partes, teniendo en cuenta lo señalado en la normatividad interna de la UNIVERSIDAD y las necesidades de **MDO LTDA.** El término estipulado en cada práctica empresarial como modalidad de trabajo de grado deberá ser informado por **LA UNIVERSIDAD** a **MDO LTDA.** en el acta de compromiso que será suscrita con anterioridad al inicio de la misma, que en todo caso deberá ser mínimo el previsto para un periodo académico, prorrogable por otro igual.

CLÁUSULA SEXTA. NO EXISTENCIA DE RELACIÓN LABORAL. Las personas partícipes de este convenio, incluyendo funcionarios, profesores, investigadores y estudiantes, desarrollarán el objeto del presente convenio con total independencia y autonomía de la institución de la que obtengan la cooperación, entendida esta última como el aporte de instalaciones, equipos, entre otros; por lo cual, el presente convenio no constituye vínculo laboral alguno.





CLÁUSULA SÉPTIMA. DURACIÓN DEL CONVENIO: El presente convenio tendrá un período de duración de un (1) año contado a partir de la fecha de la firma del presente documento, que podrán ser prorrogados por periodos iguales, previa evaluación de los resultados obtenidos y mediante acuerdo escrito entre las partes.

CLÁUSULA OCTAVA. TERMINACIÓN: El presente convenio se dará por terminado, sin perjuicio de las demás causales establecidas en la ley, en los siguientes eventos:

- 7.1 Vencimiento del plazo pactado en este convenio o de cualquiera de sus prórrogas.
- 7.2 Mutuo acuerdo.
- 7.3 Aviso escrito de una parte a la otra, con sesenta (60) días de antelación a la fecha en que se pretenda dar por terminado.
- 7.4 Por incumplimiento comprobado de cualquiera de las obligaciones previstas en el presente convenio, caso en el cual la parte cumplida comunicará a la incumplida sin necesidad de requerimientos previos.
- 7.5 Por caso fortuito o fuerza mayor.

PARÁGRAFO: En caso de finalización del convenio, por cualquiera de los eventos anteriores, permanecerá en vigencia hasta que terminen los estudiantes que están realizando la práctica en el marco del presente convenio.

CLÁUSULA NOVENA. SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS: Las partes solucionarán directamente las diferencias que se presenten entre ellas por razón del contenido y alcance de las disposiciones contenidas en el convenio. No obstante, si las partes no llegaren a algún acuerdo, acudirán a los mecanismos de solución de controversias extrajudiciales establecidos en la Ley 446 de 1998 y las demás disposiciones que las modifiquen, adicione o sustituyan, tales como la transacción, conciliación y amigable composición, para solucionar las diferencias surgidas en la ejecución del convenio.

CLÁUSULA DÉCIMA. CONFIDENCIALIDAD: las partes se comprometen a mantener CONFIDENCIALIDAD y abstenerse de usar para beneficio propio o para terceros, reproducir o divulgar la información de las partes declarada como confidencial, que se llegue a conocer en virtud de la ejecución del presente convenio. La violación de esta obligación hará incurrir a los responsables en las sanciones legales correspondientes. Se considerará información confidencial sin limitación alguna, todas las descripciones, datos, productos, procesos y operaciones, métodos, fórmulas, know-how y cualquier otra información de naturaleza técnica, económica, financiera, administrativa, jurídica y de otra naturaleza perteneciente a las operaciones, estrategias, políticas, y manejo de actividades, programas o sistemas de cómputo, software, códigos fuente o códigos objeto, algoritmos, fórmulas, diagramas, planos, procesos, técnicas, diseños, fotografías, registros, compilaciones, información de clientes o interna de los contratantes y, en general, toda aquella información que esté relacionada con programas, inventos, marcas, patentes, nombres comerciales, secretos industriales, y derechos de propiedad industrial o intelectual, licencias y cualquier otra información oral, escrita o en medio magnético que revelen **MDO LTDA.**, el **PRACTICANTE** o la **UNIVERSIDAD** con el fin del cumplimiento de este convenio. Dentro de la INFORMACIÓN CONFIDENCIAL no se incluirá: A) Aquello que sea del dominio público, por una razón diferente del incumplimiento a la confidencialidad aquí pactada. B) Que esté en posesión de la parte receptora y que la haya



recibido legítimamente con anterioridad a la celebración de este convenio. C) Que por orden válida de autoridad competente deba revelarse en tal forma que pase al dominio público. La INFORMACIÓN CONFIDENCIAL no dejará de serlo cuando deba revelarse a cualquier entidad oficial, Nacional o Internacional, por orden válida de autoridad competente, sin que pierda su calidad de confidencial y reservada. Las partes acuerdan también que las notas, resúmenes u otros materiales derivados de la INFORMACIÓN CONFIDENCIAL, en cualquier soporte físico o electrónico están sujetos a los términos y condiciones determinados aquí, y por lo tanto, son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL. Esta condición de confidencialidad se mantendrá durante la duración del convenio y no vence por la terminación del mismo, a menos que se acuerde o convenga otra cosa por las partes.

CLÁUSULA DÉCIMO PRIMERA. AUSENCIA DE EXCLUSIVIDAD: El presente convenio no limita el derecho de las partes a la formalización de acuerdos iguales o semejantes con otras instituciones.

CLÁUSULA DÉCIMO SEGUNDA. PROPIEDAD INTELECTUAL: En caso eventual que la práctica genere derechos de propiedad intelectual, las partes valorarán si los resultados obtenidos pueden ser objeto de protección de propiedad intelectual, caso en el cual, acordarán el procedimiento a seguir. Los derechos morales sobre los productos e innovaciones obtenidas pertenecerán a sus autores. Los derechos patrimoniales sobre los resultados protegibles que puedan derivarse del desarrollo de la práctica (patentes, publicaciones o aprovechamiento comercial de los resultados obtenidos), pertenecerán al **PRACTICANTE**, a la **UNIVERSIDAD** y **MDO LTDA.** a prorrata a los aportes realizados por cada una en la financiación o en la ejecución del proyecto, sin perjuicio de los derechos patrimoniales de terceros. No obstante, los derechos de propiedad intelectual están sujetos a la legislación nacional y supranacional vigente.

CLÁUSULA DÉCIMO TERCERA: INDEMNIDAD DE LA UNIVERSIDAD Y MDO LTDA.: Las partes se mantendrán indemnes en caso de cualquier reclamación, demanda o acción legal que surjan o se le causen como consecuencia del desarrollo del presente convenio.

CLÁUSULA DÉCIMO CUARTA. DE LA SEGURIDAD SOCIAL DEL PERSONAL DOCENTE Y DISCENTE DE LA UNIVERSIDAD: Los estudiantes de pregrado deberán acreditar su vinculación al Sistema General de Seguridad Social en Salud en el momento de su matrícula, ya sea en el régimen contributivo, en el subsidiado o en los regímenes especiales.
PARÁGRAFO 1: MDO LTDA. garantizará la afiliación de los estudiantes de los programas de pregrado al Sistema General de Riesgos Laborales. En todo caso, la afiliación será por el tiempo que dure la práctica y para efectos de la misma se tendrá como base de cotización un salario mínimo mensual legal vigente. El aporte al respectivo sistema será pagado por **MDO LTDA.** Será responsabilidad de cada una de las partes, garantizar la afiliación y pago de los respectivos aportes al Sistema General de Seguridad Social del personal docente y profesional que aporte para la ejecución del presente convenio.

CLÁUSULA DÉCIMO QUINTA. CESIÓN: Ninguna de las partes podrá ceder su posición contractual ni los derechos u obligaciones derivadas de la misma, ni subcontratar las obligaciones emanadas de este convenio, sin previa autorización por escrito de la otra parte.



Vigilada Mineducación



CLÁUSULA DÉCIMO SEXTA. ACUERDO INTEGRAL: El presente convenio y sus anexos constituyen el acuerdo integral que vincula a las partes en relación con el objeto del mismo. En consecuencia, el convenio deroga expresamente todos los acuerdos anteriores verbales o escritos que tengan relación con el mismo objeto.


CLÁUSULA DÉCIMO SÉPTIMA. DOMICILIO CONTRACTUAL: Se fija como domicilio contractual la ciudad de Bucaramanga.

CLÁUSULA DÉCIMO OCTAVA. PERFECCIONAMIENTO: El presente convenio se perfecciona con la suscripción que del mismo hagan las partes.

CLÁUSULA DÉCIMO NOVENA. MODIFICACIÓN: Cualquier modificación a los términos aquí contenidos deberá constar en documento escrito suscrito por cada una de las partes.

CLÁUSULA VIGESIMA: INHABILIDADES E INCOMPATIBILIDADES: Las partes que suscriben este convenio manifiestan bajo la gravedad de juramento que no se encuentran incurso en causal alguna o inhabilidad que trata los artículos 8 y 9 de la ley 80 de 1993 y demás normas complementarias, por lo tanto asumen toda responsabilidad por la veracidad de lo indicado.

Para constancia se firma en Bucaramanga a los 6 días del mes de MAYO del año 2019 en dos ejemplares de igual valor y contenido.


HERNAN ORTIZ BAYONA
Gerente General
MDO LTDA.
Lugar: Indecuesta
Fecha: 07/05/2019


SANDRA JUDITH GARCIA VERGARA
Directora Escuela Ingeniería Metalúrgica
Y Ciencia de Materiales
Universidad Industrial de Santander
Lugar: Bucaramanga
Fecha: 06/05/2019

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9
Apartado Aéreo 678 PBX: (7) 6344000
Bucaramanga, Colombia. www.uis.edu.co

