

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

“Selección de material alternativo para la Punta de eje trasero de Automóviles Chevrolet SPARK, utilizando métodos multicriterio y simulación de esfuerzos-deformación para optimizar el material”

Autores:

Ing. Javier Martínez G. PhD

Ing. Henry Toledo



Quito, Marzo 2019

INTRODUCCIÓN

Problemática:

La punta de eje trasera para Automóviles SPARK, se importa, esta no se manufactura en Ecuador:

Países de los que se importan:

- Korea
- Taiwan
- Japon
- China



INTRODUCCIÓN

Justificación

A fin de apoyar en las políticas internas del país como es el Plan Nacional del Buen Vivir, el cual su objetivo es el aumento de la matriz productiva

(Carrillo V. J., 2017)

Esta autoparte se importan; teniendo un costo de importación de aproximado de \$135 192,26.

(Importaciones - Servicio Nacional de Aduana del Ecuador, 2018)

El aporte que tiene el parque automotor dentro de la economía nacional, con actividades como: compra y venta de vehículos, autopartes, talleres de mantenimiento, entidades financieras.

(Carrillo D. , 2009)

Se establece el estudio:

Seleccionar un material óptimo para la Punta de eje trasero de Automóviles Chevrolet SPARK, utilizando métodos multicriterio y simulación de esfuerzos-deformación para optimizar el material

INTRODUCCIÓN

Objetivo:

Seleccionar un material óptimo para la Punta de eje trasero de Automóviles Chevrolet SPARK, utilizando métodos multicriterio y simulación de esfuerzos-deformación para optimizar el material.

Como se lo va a realizar:

- **Caracterización:** identificar el material base
- **Análisis MCDM:** buscar un material óptimo de entre varias opciones
- **Simulación:** cotejar material base vs mejor opción(MCDM)



METODOLOGÍA

ESQUEMA DE ESTUDIO

Caracterizar Material Base

- Determinación de la composición química.
- Ensayo Dureza.
- Determinación Resistencia a la Tracción



Figura 4. Ensayo de Dureza Brinell

Análisis MCDM

- Entropía.
- CRITIC.
- Ordenación Simple.
- Promethee.
- Topsis.
- Vikor.

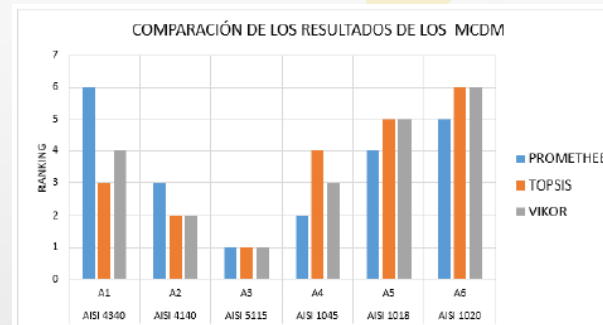
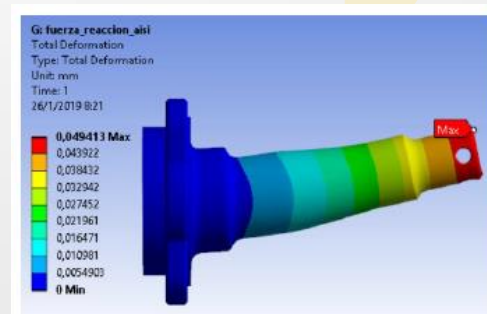


Figura 31. Resultado del análisis MCDM

Simulación: Material Base vs Mejor opción

- Deformación.
- Esfuerzos Von-Mises.
- Factor de Seguridad



(b)

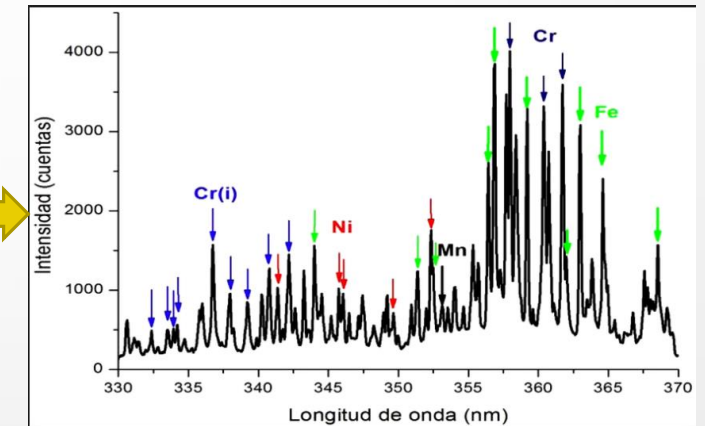
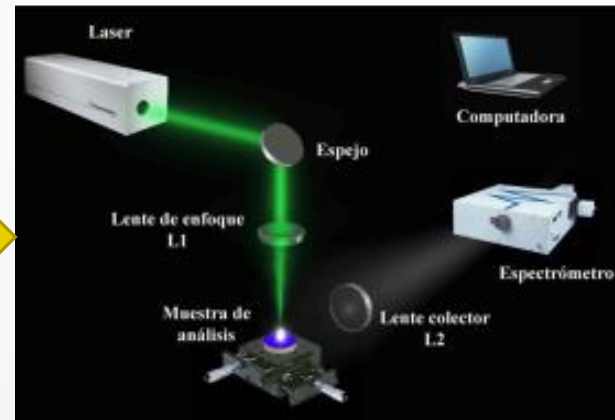
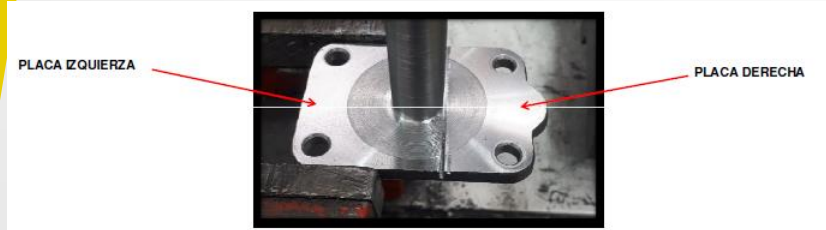
Figura 35. Deformación Escenario 3; a) Material Base; b) Material AISI 5115

METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE

- Determinación de la composición química

Norma: ASTM E415



Informe

Estudios relacionados:

- Contreras (2012). Identificación de aceros por espectroscopia de rompimiento inducido por láser (LIBS) y análisis de componentes principales.

METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE

- Ensayo de Dureza

Norma: ASTM E18

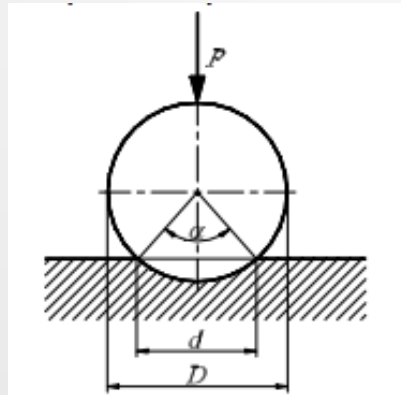


Figura 1. Esquema básico de un ensayo de dureza Brinell



Figura 4. Ensayo de Dureza Brinell



Huellas
dejadas por
el identador

Figura 5. Lupa para medición y muestra con las deformaciones aplicadas

METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE

- Ensayo de Dureza

Norma: ASTM E18

$$HB = 0,102 * \frac{2 * F}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Donde:

F: Carga nominal del ensayo de dureza Brinell.

D: Diámetro de la esfera de la maquina de Dureza Brinell.

d: Diámetro de la huella dejada por el identador en el ensayo.

Tabla 10.
Dureza Brinell.

Número de muestra	Diámetro de huella (d) mm	Diámetro esfera (D) mm	Carga nominal N
Primera	0,84	2,5	1839
Segunda	0,86	2,5	1839
Tercera	0,84	2,5	1839
Cuarta	0,85	2,5	1839

METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE

Determinación Resistencia a la Tracción

CORRELACIÓN

Dureza - Resistencia
a la tracción

DOS
MÉTODOS

$$\text{Resistencia, } \sigma_e = HB * \text{Factor}$$

Donde:

σ_e = Resistencia a la tracción; kg/mm^2

HB = Dureza Brinell

Factor = coeficiente dependiente del material

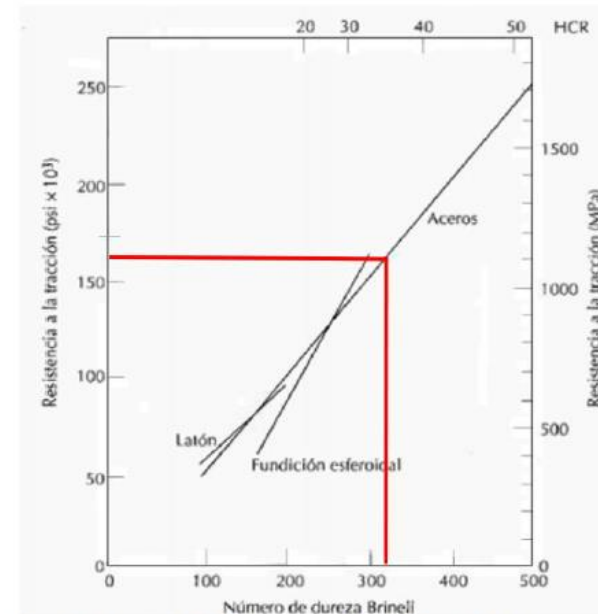


Figura 6. Relación entre dureza y la resistencia a la tensión para aceros. (Universidad Don Bosco-Ingeniería Mecánica, s.f.)

METODOLOGÍA

Análisis MCDM

Ponderación

CRITIC

ENTROPÍA

ORDENACIÓN
SIMPLE

$$w_j = s_j * \sum (1 - r_{jk})$$

w_j = peso o ponderación del criterio j

s_j = desviación típica del criterio j

r_{jk} = coeficiente de correlación entre los criterios j y k

$$E_j = K * \sum_i ((a_{ij}) * \log a_{ij})$$

Donde:

$$k = \frac{1}{\log m} \text{ y}$$

m = es el número de opciones.

Tabla 24. Ponderación de criterios por Ordenación simple.

Descripción	Orden	Puntuación	Ponderación
Dureza (HB)	3	5	0,1785
Precio	4	4	0,1428
Resistencia a la tracción	2	6	0,2142
Porcentaje de Carbono	1	7	0,25
Resistencia última	5	3	0,1071
Resistencia a la fluencia	6	2	0,0714
Límite a la fatiga	7	1	0,0357
SUMA		28	1

Estudios relacionados:

- Rodger Salazar. Javier Martinez-Gómez, (2019)
- Chérrez-Troya (2018)
- Hidalgo (2018)

METODOLOGÍA

Análisis MCDM

Análisis de métodos multicriterio

Anojkumar (2014): analiza las mismas variables y en su estudio ocupa TOPSIS, VIKOR PROMETHEE II.

Caliskan (2013): Realiza un estudio de un eje sometido a esfuerzos y el problema de elección de material lo hace por medio de los métodos TOPSIS, VIKOR PROMETHEE II.

PROMETHEE II

TOPSIS

VIKOR

METODOLOGÍA

Análisis MCDM

Análisis de métodos multicriterio

PROMETHEE II

Flujo neto de
superación

$$\phi^{-}(i') = \phi^{+}(i') - \phi^{-}(i')$$

TOPSIS

Proximidad del
Radio

$$R_i = \frac{S_i^{-}}{S_i^{+} + S_i^{-}}$$

VIKOR

Indice Vikor

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(s^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

Estudios relacionados:

- Chérrez-Troya (2018), un material que posee una elevada dureza Brinell y que se analice mediante el método VIKOR, hace que el material con elevada dureza sea una candidato óptimo para ser escogido como alternativa

Simulación: Material Base vs Mejor opción

METODOLOGÍA

Parámetros de Simulación:

Tabla 5.

Características del material base.

Denominación	Valor	Unidades
Densidad	7830	Kg/m ³
Resistencia a la tracción	1128,15	MPa
Módulo de Young	215	GPa
Coefficiente de Poisson	0,295	--

Tabla 6.

Características del material AISI 5115.

Denominación	Valor	Unidades
Densidad	7830	Kg/m ³
Resistencia a la tracción	1078,73	MPa
Módulo de Young	201	GPa
Coefficiente de Poisson	0,275	--

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

Simulación: Material Base vs Mejor opción

METODOLOGÍA

Parámetros de Simulación:

Tabla 7.
Parámetros de simulación.

Denominación	Obstáculo	Fuerza lateral	Fuerza de reacción
Soporte Fijo	Aplica	Aplica	Aplica
Soporte sin Fricción	Aplica	Aplica	Aplica
Fuerza Remota	9842,4 N	3110 N	No Aplica
Fuerza aplicada	No Aplica	No Aplica	2914 N

Tabla 8.

Ubicación del punto remoto desde el centroide de la Punta de Eje Trasera.

Eje	Coordenada	Unidad
x	-3,03E-08	mm
y	-190,5	mm
z	39782	mm

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

METODOLOGÍA

Simulación:
Material Base vs Mejor opción

Escenarios para la Simulación:

Primer Escenario

Obstáculo



Segundo Escenario

Fuerza lateral



Tercer Escenario

Fuerza de Reacción



METODOLOGÍA

Simulación:
Material Base vs Mejor opción

Parámetros de Simulación:

Tabla 9.
Programación del mallado

Denominación	Característica
Display Style	Use Geometry
	Defaults
Physics Preference	Mechanical

Advanced	
Number of CPUs for Parallel	8
Part Meshing	
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	148317
Elements	102234

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

Simulación: Material Base vs Mejor opción

METODOLOGÍA

Parámetros de Simulación:

Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	6
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Slow
Span Angle Center	Medium
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	152,61 mm
Average Surface Area	333,4 mm²
Minimum Edge Length	1,4142 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	2,2182e-003
Max	0,99236
Average	0,75345
Standard Deviation	0,14331
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

Edición de Windows

Windows 10 Pro

© 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Sistema

Fabricante: Wi-Black Corp

Modelo: Satellite S55-B

Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz 2.40 GHz

Memoria instalada (RAM): 12,0 GB

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Figura 22. Características el equipo utilizado



RESULTADOS

Caracterización del material base

Determinación de composición química del material:

Ensayo basado en la norma ASTM E415

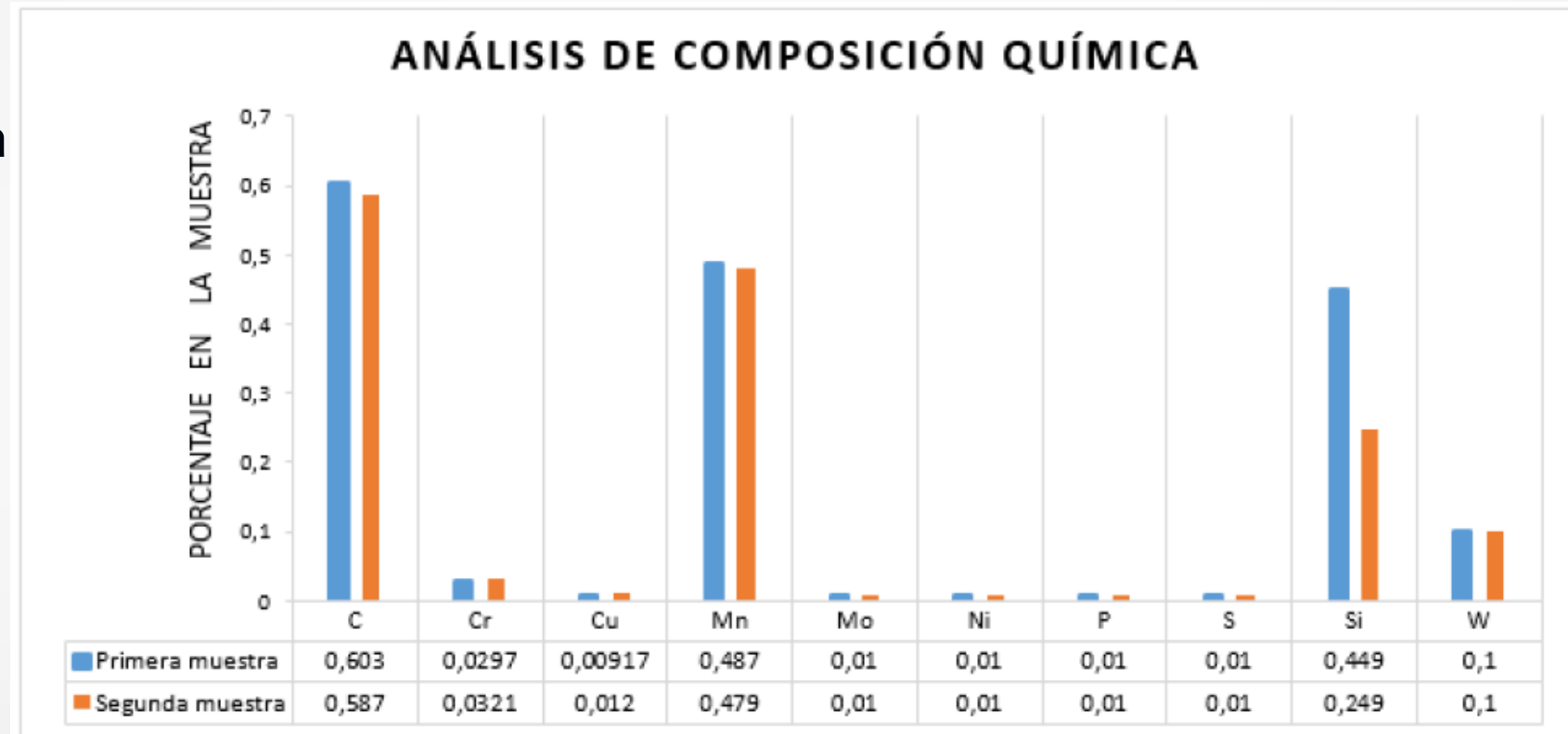


Figura 25. Composición Química material base

Estudios relacionados:

- Jaimes (2006), las propiedades de un material pueden modificarse, al variar su composición química.
- Alpizar (2004), un material es acero cuando posee % C entre 0,15 a 1,76%
- Giraldo (2012), indica que el carbono brinda alta tenacidad y alta resistencia al desgaste.
- Cetina (2011) los porcentajes C, incrementan la resistencia mecánica

Caracterización del material base

Ensayo de Dureza:

Ensayo basado en la norma ASTM E18

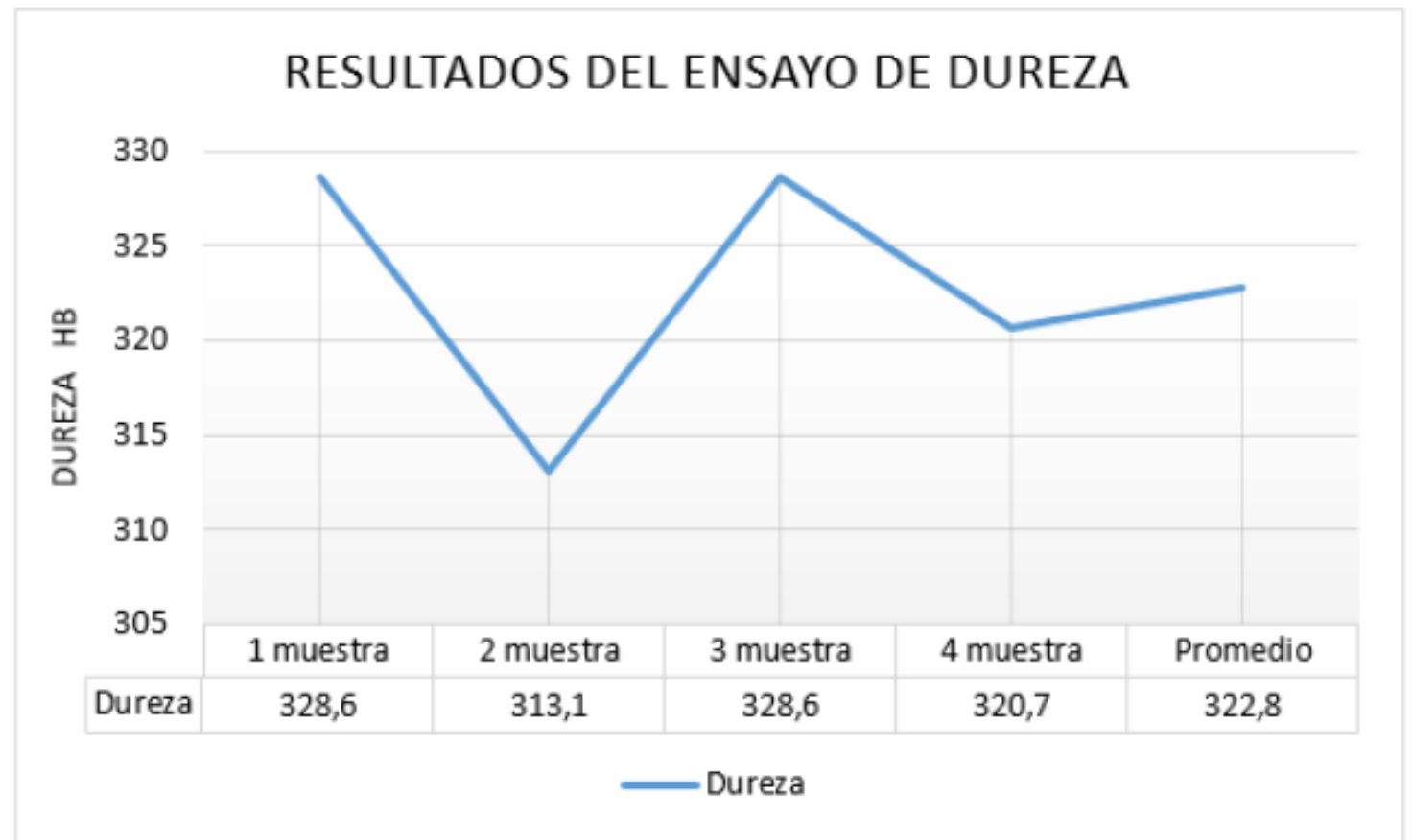


Figura 26. Resultados del ensayo de Dureza Brinell HB

Estudios relacionados:

- Hassan (2018), para la caracterización del material base se debe realizar pruebas de dureza las cuales se realizaron con el objetivo de descubrir las propiedades de dureza Brinell.

Caracterización del material base

Ensayo de Tracción:

Estudios relacionados:

- Gasko (2011) indica que es factible predecir las propiedades mecánicas de los aceros mediante los valores medidos de dureza, también nos indica que es posible predecir la resistencia del acero con una precisión de $\pm 10\%$.
- Pavlina (2018), la resistencia a la tracción de un acero con una dureza de 300 HB es 102 kg/mm².
- Otegui (2011), indica que se puede relacionar la dureza con la resistencia a la tracción ya que el material base es un acero al carbono.

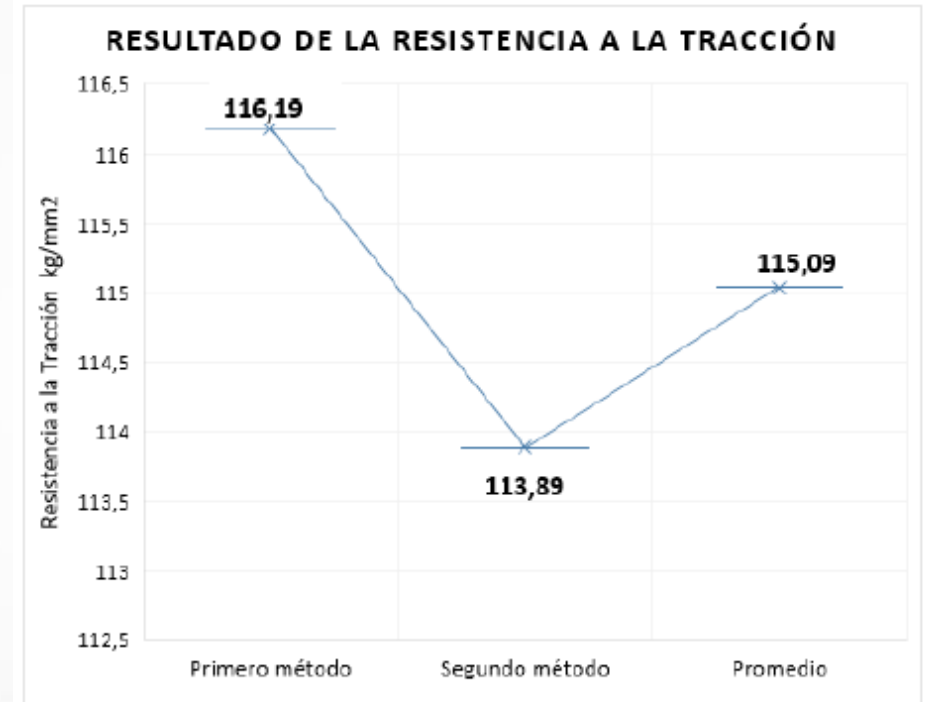


Figura 27. Resistencia a la Tracción

Tabla 56.

Comparación de Resistencia a la tracción con otros autores

Estudio	Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción kg/mm ²
Estudio actual	322,77	115,04
Otegui (2011)	322,77	102,03
Pavlina (2018)	322,77	113,55

ANALISIS MULTICRITERIO MCDM

Ponderación de Pesos:

Ponderación de Criterios

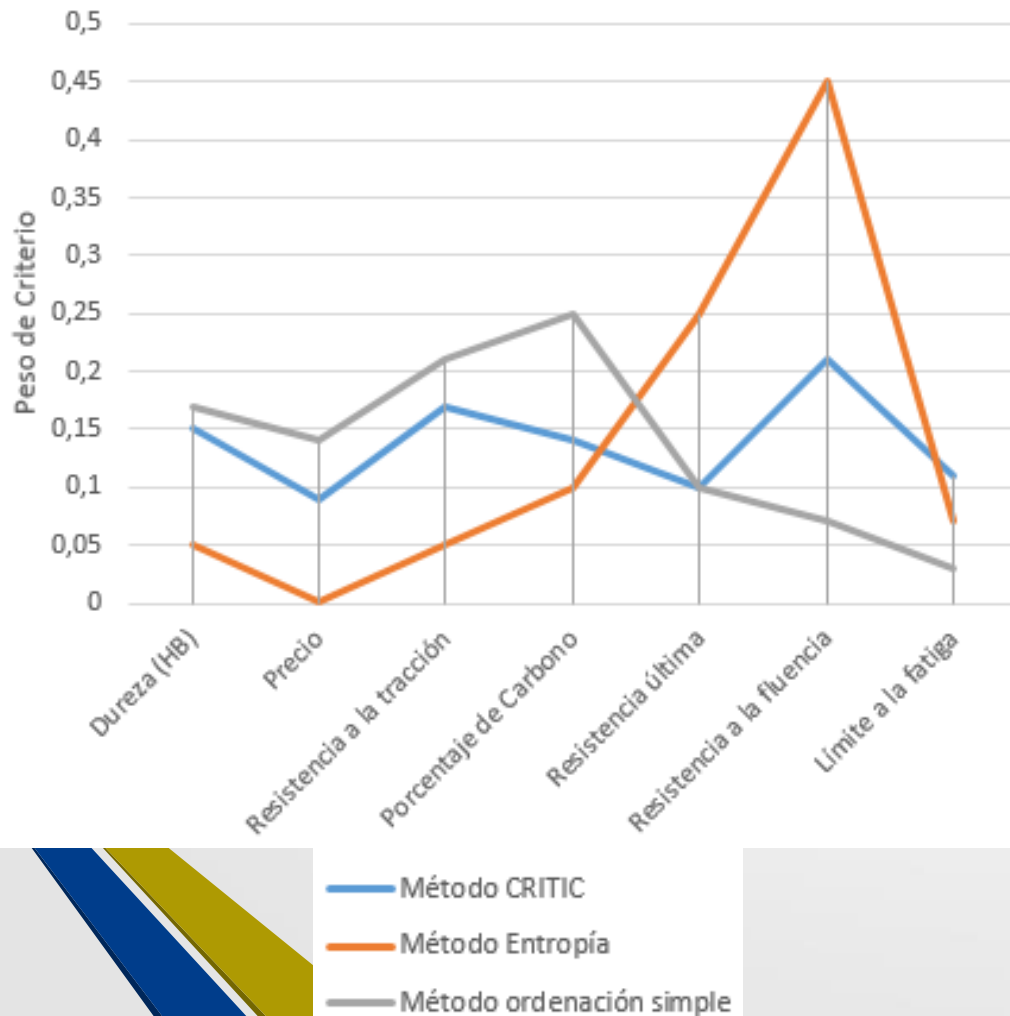


Tabla 25.

Resultados de la Ponderación de los criterios.

Descripción	Método CRITIC	Método Entropía	Método ordenación simple
Dureza (HB)	0,15	0,05	0,17
Precio	0,09	0,00036	0,14
Resistencia a la tracción	0,17	0,05	0,21
Porcentaje de Carbono	0,14	0,10	0,25
Resistencia última	0,10	0,25	0,10
Resistencia a la fluencia	0,21	0,45	0,07
Límite a la fatiga	0,11	0,07	0,03

ANALISIS MULTICRITERIO MCDM

Comparación del análisis multicriterio:

Tabla 52.
Resultado de MCDM.

	Designación	PROMETHEE	TOPSIS	VIKOR
AISI 4340 (705)	A1	6	3	4
AISI 4140 (709)	A2	3	2	2
AISI 5115 (7210)	A3	1	1	1
AISI 1045 (760)	A4	2	4	3
AISI 1018 (Transmisión)	A5	4	5	5
AISI 1020	A6	5	6	6

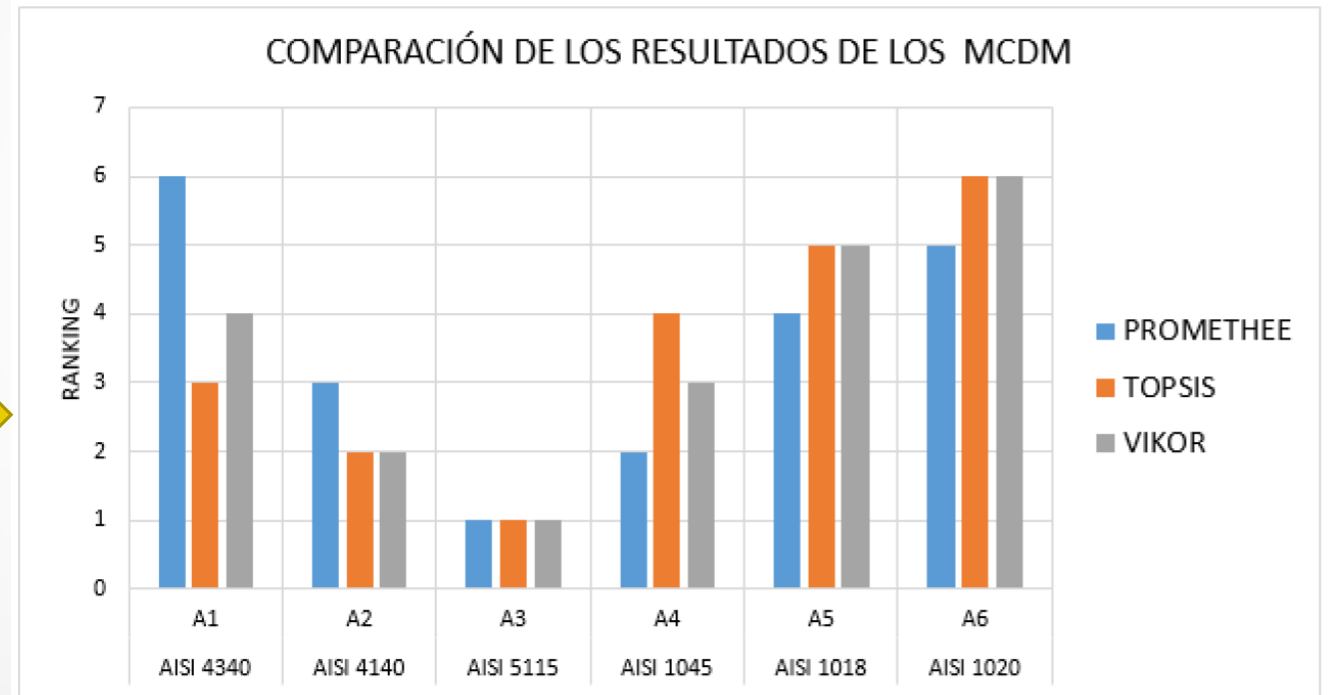


Figura 31. Resultado del análisis MCDM

Estudios relacionados:

- Chérrez-Troya (2018), los MCDM tienen la tarea de clasificar un número finito de alternativas de decisión, cada una se describe explícitamente en términos de diferentes criterios de decisión que deben tenerse en cuenta simultáneamente.
- Gómez (2016), al ocupar el método TOPSIS el índice que influye para que un material sea el ganador es el que posee mayor distancia alternativa negativa.

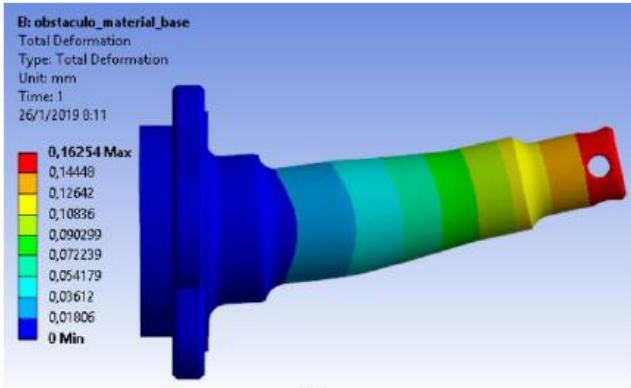
SIMULACIÓN

Escenario 1

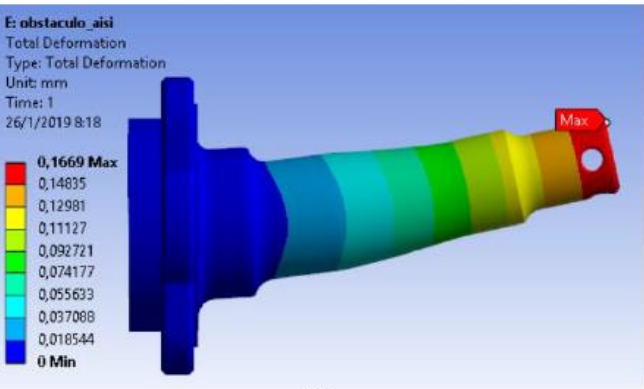
Tabla 53.

Resultados de Simulación Escenario 1.

Obstáculo			
Material	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	F.S.
Material Base	0,16254	217,5	3,1724
AISI 5115	0,1669	218,5	3,6384



(a)



(b)

Figura 33. Deformación escenario 1; a) Material base; b) Material AISI 5115

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

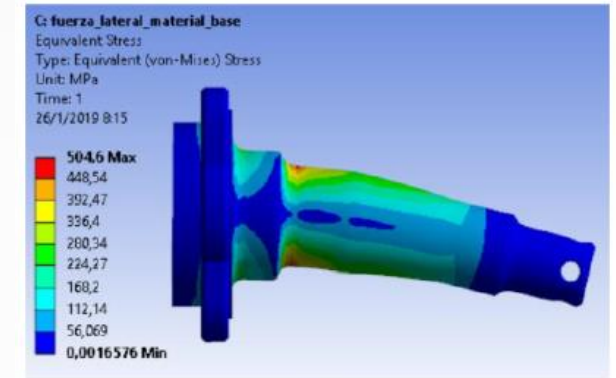
SIMULACIÓN

Escenario 2

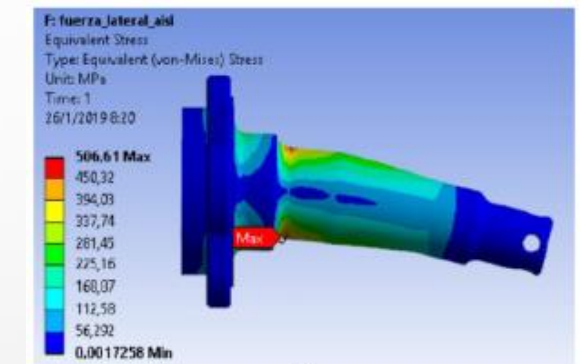
Tabla 54.

Resultados de Simulación Escenario 2.

Material	Fuerza Lateral		
	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	F.S.
Material Base	0,39872	504,6	1,3674
AISI 5115	0,40914	506,61	1,5692



(a)



(b)

Figura 38. Esfuerzo Máximo Escenario 2; a) Material Base; b) Material AISI 5115

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

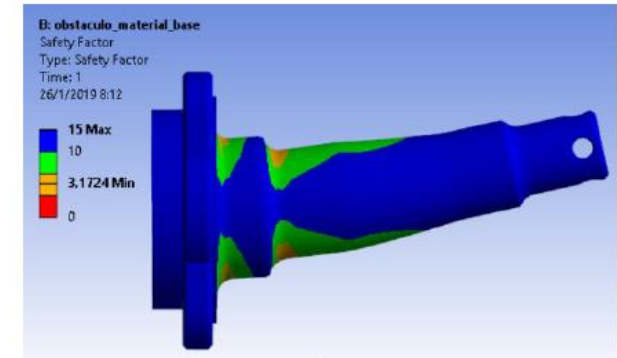
SIMULACIÓN

Escenario 3

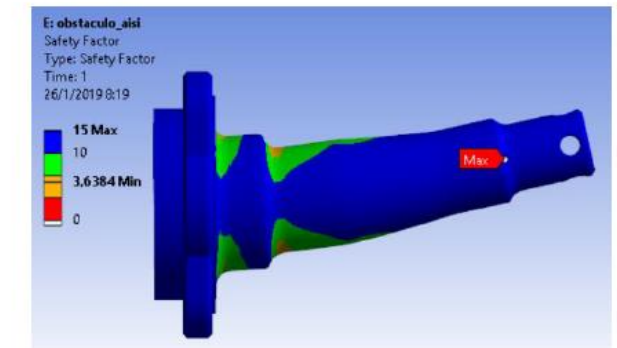
Tabla 55.

Resultados de Simulación Escenario 3.

Material	Fuerza Reacción		
	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	F.S.
Material Base	0,048128	64,401	10,714
AISI 5115	0,049413	64,691	12,289



(a)



(b)

Figura 41. Factor de Seguridad Escenario 1; a) Material Base; b) Material AISI 5115

Estudios relacionados:

- Somvanshi & Keche (2015), que tratan sobre la sustitución de la brida de material de acero al carbono con una brida de acero inoxidable.
- Fu (2012), en el cual analiza un eje motriz, en donde hay un desplazamiento máximo en el centro de la caja del eje motriz y el valor de desplazamiento es 0,713 mm

Relación Resistencia a la tracción-Dureza

Estudios relacionados:

- Pavlina (2018), la resistencia a la tracción de un acero con una dureza de 300 HB es 102 kg/mm².
- Gasko (2011) indica que es evidente la posibilidad de predecir las propiedades mecánicas de los aceros mediante los valores medidos de dureza, también nos indica que es posible predecir la resistencia del acero con una precisión de $\pm 10\%$.
- Otegui (2011), la resistencia se puede obtener con la siguiente ecuación;
 $Resistencia, \sigma_e = 3,10 * HB \text{ (MPa)}$

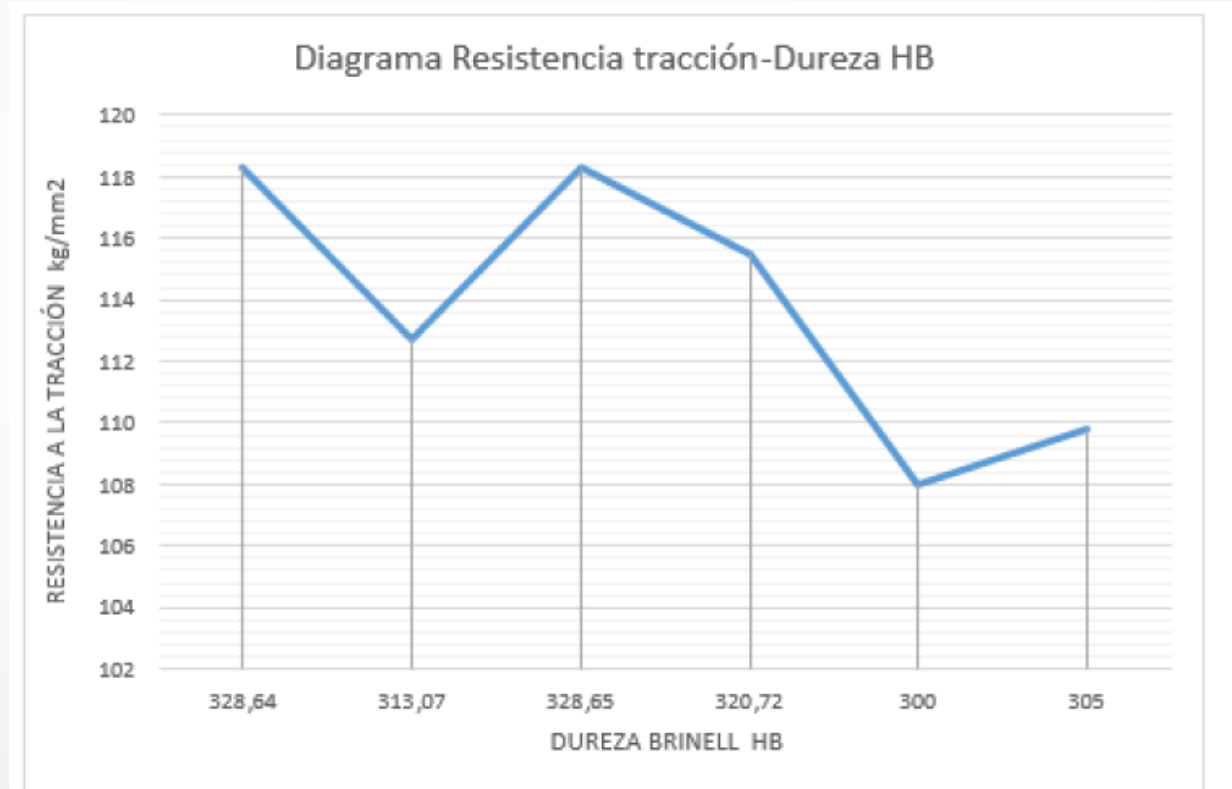


Figura 46. Relación Resistencia a la tracción-Dureza.

Relación Resistencia a la tracción-Dureza

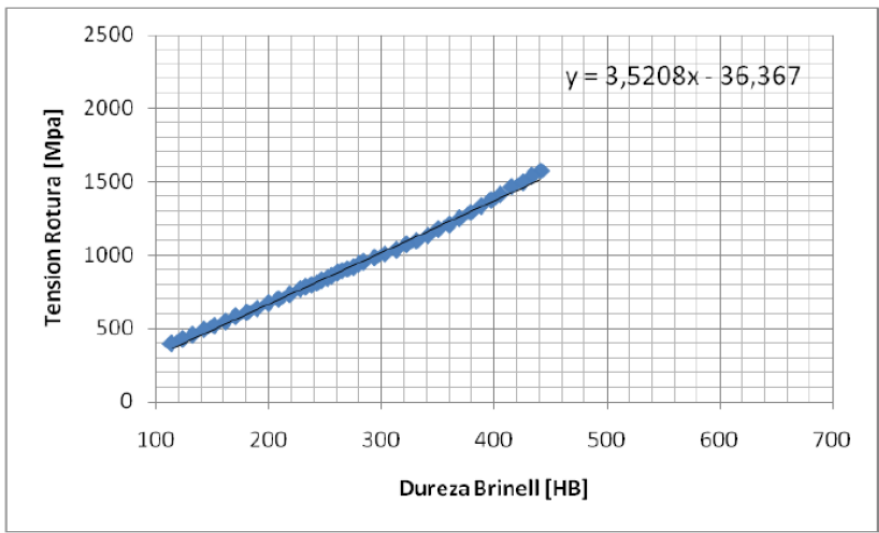


Figura 47. Resistencia a la tracción vs Dureza Brinell. (Otegui, 2011).

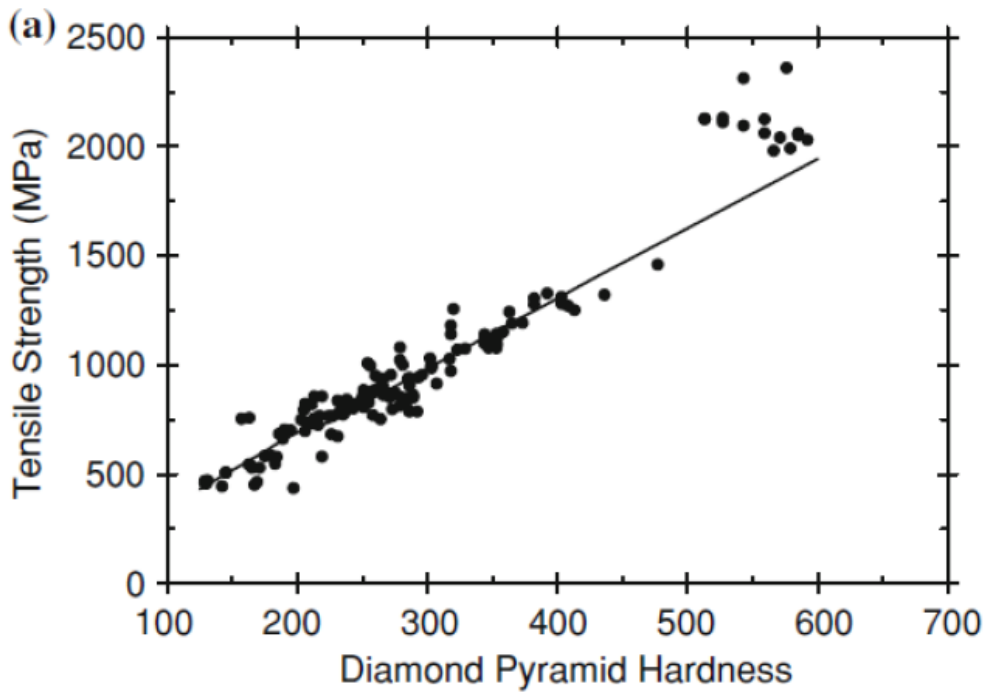


Figura 48. Resistencia a la tracción – Dureza HB. (Pavlina, 2008).

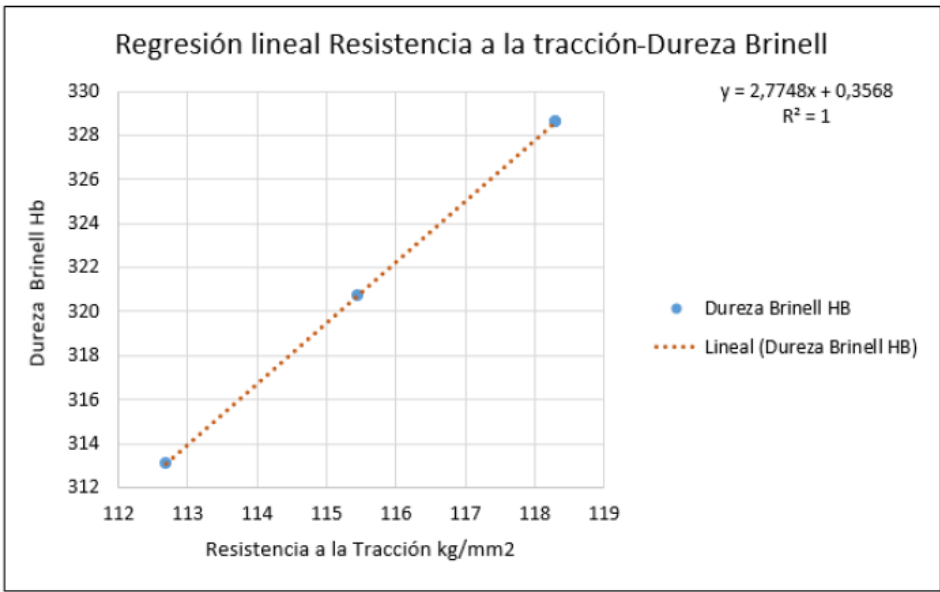


Figura 49. Regresión lineal de Resistencia a la tracción-Dureza HB

Tabla 56.

Comparación de Resistencia a la tracción con otros autores

Estudio	Dureza Brinell	Resistencia a la tracción
	HB	kg/mm2
Estudio actual	322,77	115,04
Otegui (2011)	322,77	102,03
Pavlina (2018)	322,77	113,55

CONCLUSIONES

- De la caracterización del material base se estableció que se trata de un acero al carbono
- El MCDM, indica un material óptimo para que reemplace al material base el AISI 5115 y los MCDM son herramientas importantes y acertadas a la hora de tomar una decisión.
- De los tres escenarios analizados, el escenario 2 es en donde está sometida a un mayor esfuerzo, ya que se tiene con respecto al obstáculo una diferencia de 288,6 MPa y con respecto a la fuerza de reacción una diferencia de 441,9 MPa.

CONCLUSIONES

- Al igual que el esfuerzo máximo, la deformación en el escenario 2 posee un mayor valor en comparación con el resto de los escenarios y la diferencia con el material base es menor al 3%.
- Se puede indicar que el material elegido es el óptimo para ser una alternativa ideal.

RECOMENDACIONES

- Al momento de caracterizar un material, primero se debe realizar un análisis de composición química.
- Identificar los criterios necesarios para el MCDM.
- Replicar este análisis en otras autopartes que se estén importando al país.

REFERENCIAS

- El-Faroug , M. O., Fuwu, Y., & Luo , M. (2016). Spark Ignition Engine Combustion, Performance and Emission Products from Hydrous Ethanol and Its Blends with Gasoline. *ENERGIES*, 2-24.
- Hernandez, M., Menchaca, L., & Mendoza, A. (2014). Fuel economy and emissions of light-duty vehicles fueled with ethanol gasoline blends in a Mexican City. *Renewable Energy*, 72, 236-242.
- AENOR. (2018). *AENOR: Norma UNE-EN 10020:2001. Obtenido de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0024235&PDF=Si#.Wx9MEUgvzDc>*
- Aguirre Ibarra, G. M., & Vaca Burgos, L. A. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas de la gasolina extra aditiva con alcoholes, en la refinería Esmeraldas. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador Master Thesis.
- Albarrán Ligero, J. (2017). Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5, Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering).
- Alpízar, E. T. (2004). Apuntes acerca del Tratamiento Térmico y la Clasificación General de los Aceros. Universidad de Matanzas, Facultad de Ingeniería Químicas y Mecánica, Cuba.
- Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., & Sasirekha, V. (2014). Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2964-2980.



GRACIAS UISEK