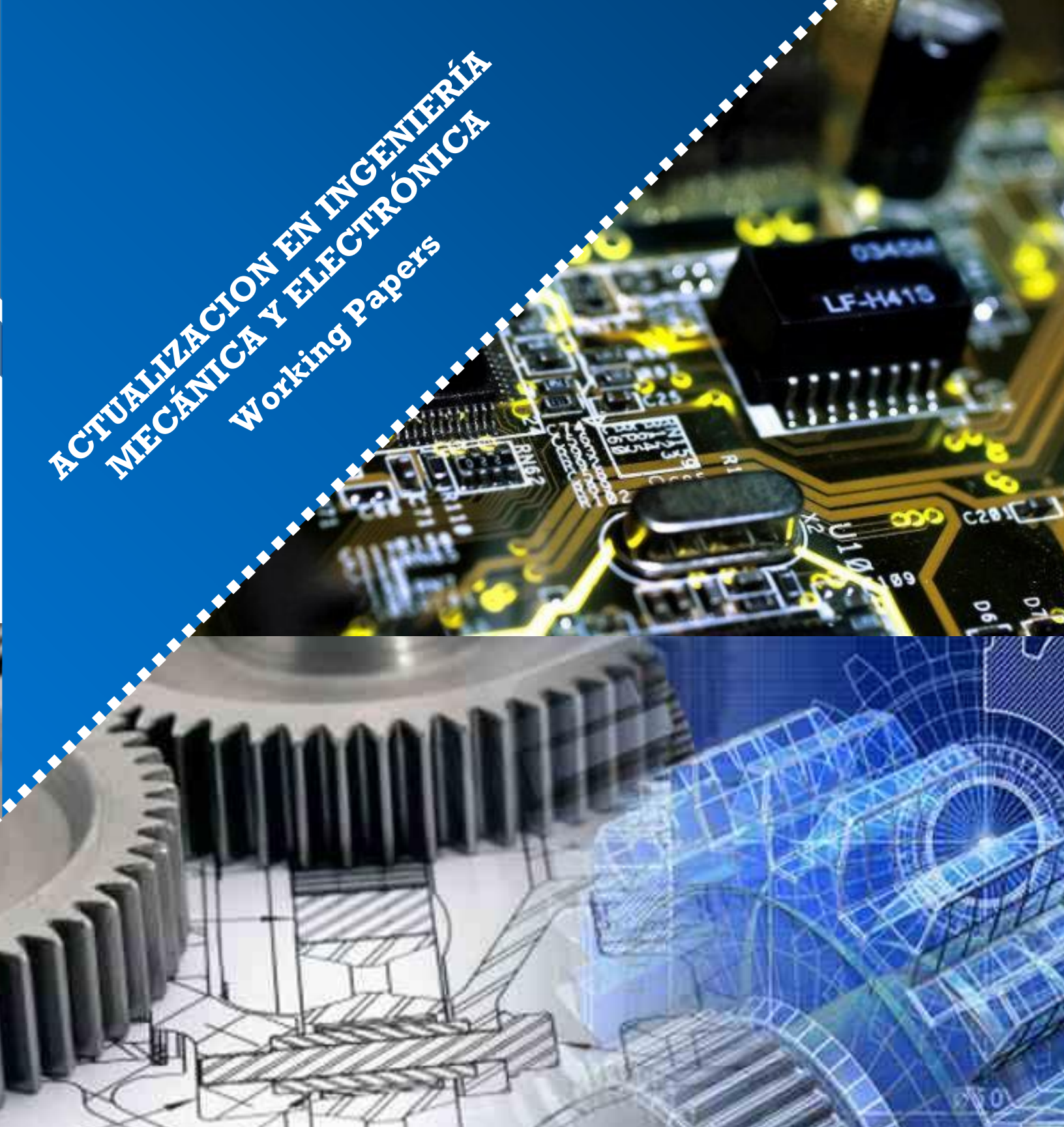


ACTUALIZACION EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRÓNICA

Working Papers



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A

VIGILBA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732



ISBN: 978-958-5471-55-9



ediciones
USTA

UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS

Actualización en Ingeniería Mecánica y electrónica.

ISBN: 978-958-5471-55-9

186 páginas. Tamaño 17x 24 cm

Comité editorial

Fr. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector

Fr. Omar Orlando SANCHEZ SUÁREZ, O.P.

Vicerrector Académico

Fr. Héctor Mauricio VARGAS RODRÍGUEZ, O.P.

Vicerrector administrativo y Financiero

Fr. Fernando CAJICA GAMBOA, O.P.

Decano de División de Ingenierías y Arquitectura

María Ximena ARIZA GARCÍA

Directora Ediciones Usta Tunja

Sandra Consuelo DÍAZ BELLO

Directora Unidad de Investigación e Innovación

Juan Carlos CANOLES VÁSQUEZ

Director Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación

Editor

MSc. Edwin Blasnilo Rúa Ramírez. PhD.c.

Coeditor

M.Sc. Adolfo Ávila Barón

Primera edición, 2020

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente. El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete la ideología de la Universidad Santo Tomás.

Los Working Papers USTA TUNJA es un producto de difusión de la División de Ciencias de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, que muestra los productos de investigación, proyectos de grado, proyectos finales de asignaturas y revisión bibliográficas, generados a partir de diferentes avances científicos y tecnológicos, dirigida al público en general.



Sello Ediciones Usta

Departamento Ediciones Usta Tunja

Facultad de Ingeniería Mecánica - Facultad de Ingeniería Electrónica



CONTENIDO

Estudio de factibilidad de generación eólica en la ciudad de Tunja

Daniel Acosta Arcos / Miguel Piza Daza

Neider Camacho Cruz / Edwin Rua Ramírez.....4

Diseño y construcción de una extrusora para polímeros

Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento / Jeisson David Pineda Cadena.....16

Avances de la fibra de carbono en la actualidad

Juan Sebastián Largo Espitia / Edwin Rua Ramírez /

Adriana Granados Comba.....26

Aplicación de la energía solar térmica en la actualidad

Iván González Daza / Cristian Hernández Garzón

Brayan Núñez Prieto / Edwin Rúa Ramírez.....37

Propiedades y aplicaciones de materiales para uso en la industria aeroespacial

Jennifer Sofía Cruz Cristancho / Carlos Daniel Rojas Flechas

Edwin Rua Ramírez / Ángela González Amarillo.....49

Publicidad Escrita Una alternativa Didáctica de Promoción en la Robótica Educativa

Edy S. Galindo G / Cristian L. González D

Juan E. Morales C / Ana María. Parra L.....63

Análisis numérico de un proceso de conformado

Acosta Daniel / González Cristian

Maldonado Daniel / Quintero Yina.....73

Análisis comparativo de las microestructuras de aceros tratados térmicamente

Erika Sofía Salazar Aponte / Javier Alexander Pinzón Roballo

Santiago Rodríguez Torres / Yenny Marlén González Mancilla.....89

Análisis por Elementos Finitos de un Proceso de Conformado de Estampado

Liseth Tatiana González López / Edwin Gómez Naizaque

Yina Quintero Gamboa.....104



Estudio de factibilidad de generación eólica en la ciudad de Tunja

**Daniel Acosta Arcos, Miguel Piza Daza,
Neider Camacho Cruz, Edwin Rua Ramírez**

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás Tunja, Boyacá, Colombia

Resumen

El objeto de este trabajo investigativo ha sido realizar un estudio de factibilidad para una instalación de energía eólica en la ciudad de Tunja, donde se debe suplir la necesidad de consumo de energía estimada de una vivienda promedio, asumiendo un consumo de 231.6 kWh/mes, para esto se seleccionó un aerogenerador de 3 kW de potencia, de sus características se identifica el comportamiento del viento en la ciudad respecto a la energía necesaria. Por otra parte, se realizó la comparativa de estudios realizados en la ciudad y municipios aledaños, así generando una idea de lo que podría ser la solución, viendo parámetros a mejorar o un reestructuramiento del proyecto, viendo que tan viable podría ser y así dar solución a diferentes hogares. De acuerdo con la comparación realizada este documento concluye con la idea de que la ciudad de Tunja ofrece las condiciones necesarias para el funcionamiento del aerogenerador propuesto, sin embargo, la producción energética no alcanza el valor deseado.

Palabras clave: Energía eólica, velocidad de viento, aerogenerador, producción de energía anual.

Introducción

La energía ha sido siempre un requisito indispensable para mover el mundo y muy especialmente en la actualidad, ya que el crecimiento tecnológico, industrial y económico hacen que el uso de la energía se hace indispensable para el ser humano, enfrentando así retos como la mitigación del ya evidente calentamiento global, la gestión del crecimiento de la población, la adecuada gestión frente al agotamiento y el costo de los recursos naturales, el mejoramiento de una situación de inequidad en la distribución de la energía disponible[1].

Se data que el aprovechamiento y el uso de las energías eólicas es muy antiguo, no obstante se cree en la actualidad que este tipo de energía empezó a aprovecharse con la aparición de los aerogeneradores, pero el hombre se dio cuenta del uso de la energía eólica al comprender que era la energía obtenida a partir del viento y lo aprovechó de la mejor manera en los primeros barcos a vela hace miles de años, [2], pero hoy en día la creciente demanda de energía y la contaminación que esta genera, impulsan iniciativas a la búsqueda y aprovechamiento de nuevas energías, es precisamente la demanda creciente de energía eléctrica y el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), que contribuyen en el fuerte incremento de fenómenos como el efecto invernadero y por ende el calentamiento global, de allí la importancia de explorar energías alternativas que contribuyan a superar los retos y dificultades eléctricas del mundo en la actualidad. Colombia ha hecho una apertura a la integración de las energías renovables, con la promulgación de la Ley No. 1715 del 13 de mayo de 2014 que “tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional” [3]

Por dificultades como las anteriormente nombradas se hace vital estudiar y comparar las ventajas de utilizar los diferentes tipos de energías alternativas en el mundo, un ejemplo de estudio e



implementación de estas energías alternativas es Europa [4], que centra su esfuerzo económico y humano para asumir este tipo de reto, a raíz de la importancia de asumir un cambio, y teniendo en cuenta los objetivos y metas de desarrollo sostenible planteados por la ONU [5], *energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos*, de allí la importancia de indagar más en este tipo de energías y contribuir con el planeta, mediante el compromiso mundial por parte de cada uno de los países, se abrirán las puertas nuevamente para las energías renovables, ya que estas son inagotables, limpias, no contaminan y pueden desarrollarse bajo el concepto de desarrollo sostenible.

Por su parte Colombia ha realizado algunos estudios sobre la energía eólica pero se ha encontrado con dificultades gubernamentales dada la falta de compromiso de parte de las políticas, a pesar de que es un país que se destaca por su potencial eléctrico, gracias a la disponibilidad de recursos para la generación eléctrica y a las instituciones que rigen el mercado eléctrico [6], por ello la energías eólica es poco desarrollada y bastante incipiente, con una capacidad instalada de apenas 19,5 MW representada por Jepirachi, en La Guajira. La ciudad de Tunja, capital del departamento de Boyacá es conocida en Colombia, no sólo por aspectos culturales, sino además por las características especiales de su clima donde se distinguen sus fuertes y fríos vientos, prácticamente todos los días del año. Tan importantes son estas características, que en su plaza principal, la plaza de Bolívar, existe una de las esquinas más conocidas de la ciudad denominada como “la esquina de la pulmonía” este nombre es dado por los lugareños debido a que en este lugar son persistentes los vientos fuertes y fríos. [7]

Un punto a favor de Colombia es que tiene una ventaja en el régimen de vientos, ya que es altamente favorable para diseñar e implementar una red de generadores de energía eléctrica a partir de la energía eólica, los vientos están catalogados entre los mejores de Sudamérica [2], teniendo en las regiones costeras del caribe vientos que han sido clasificados clase siete, es decir por encima de 9 metros por segundo.

Según el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, municipios como Gachaneca en el puesto número 2 y Villa Carmen en el puesto 7, son los municipios con mayor potencial para la generación de energía eólica [8], con intensidades superiores a 5 m/s en el campo promedio de velocidad del viento se ubican a lo largo del año entre las 8a.m. y 5p.m, y hacia la mitad de año pueden alcanzar intensidades promedio cercanas a los 7 m/s extendiéndose desde las 5 a.m. hasta las 5 p.m. La dirección predominante de donde sopla el viento es del sur sureste.

Así mismo un estudio realizado por la facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia encontró la posibilidad de construir cuatro parques eólicos en Aquitania, Duitama y Samacá, municipios del departamento de Boyacá, estudios que surgen por la necesidad de ampliar la actual oferta energética que proviene por el momento solo de energías hidroeléctricas [9], y para el caso particular de Tunja se prevé que para el año 2021 llegara la empresa francesa Green Yellow Energy para realizar proyectos de energía eólica en Socará, Oicatá, Tunja y Arcabuco, por ahora el proyecto se encuentra en la fase de factibilidad y licenciamiento, según precisó el vocero corporativo [10].

Desarrollo de contenidos

Para el desarrollo de este artículo de investigación, realizado a manera de working paper se ha propuesto la posibilidad de implementar el uso de energías alternativas como la generación eólica en la ciudad de Tunja a fin de suplir las necesidades energéticas básicas de algunos sectores de la ciudad mejorando de esta manera la calidad de vida de sus habitantes.

A partir de esta premisa, surgen dos temas principales de evaluación que permitirán dar rumbo a esta investigación y sobre los cuales se fundamentó el resultado final de la misma, que ha de determinar la factibilidad de la hipótesis planteada ya que de ser posible se conocerá también el alcance de la generación eólica en la ciudad. Así pues, para abordar esta propuesta es necesario determinar:

Requerimientos para la generación de la energía eólica

Con el fin de abordar los requerimientos de generación eólica se tendrá en cuenta como condiciones iniciales un generador doméstico comercial que sea capaz de suplir la demanda de una vivienda lo más sencilla posible, con los electrodomésticos mínimos necesarios para suplir las necesidades básicas del hogar. De este modo, se suponen seis equipos electrodomésticos de los cuales se describe su potencia de consumo unitaria, tiempo de uso mensual, y consumo de energía por hora, cada mes. Como se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 1. *Estimación del consumo eléctrico de una vivienda promedio en Tunja.*

Electrodoméstico	Consumo [w]	Tiempo uso mensual [h]	Consumo mes [kwh]
Congelador	400	240	96
Plancha	1000	24	24
TV (19-21")	70	180	12,6
Estéreo	75	120	9
Focos (6 de 60w c/u)	360	150	54
Pc	300	120	36
Total, Consumo mensual [kWh/mes]			231,6

Fuente: Autor

De acuerdo a las indicaciones de winturbinestar[11], para la selección de un aerogenerador es necesario tener en cuenta el consumo de energía anual en kWh, por este motivo el dato obtenido en la tabla anterior debe ser multiplicado por doce a fin de obtener la demanda de energía. Serían entonces aproximadamente 2779.2 kWh/año. Teniendo en cuenta este dato de estimación, se realiza una búsqueda del aerogenerador más pequeño que sea capaz de suplir dicha demanda energética. Por lo que se eligió el aerogenerador de minieólica E 30 PRO marca ENAIR mostrado en la figura 1. Este, además sugiere una opción confiable pues [12] “está diseñado para cubrir la demanda de cualquier vivienda habitual, incluso con bajo viento”



Fig. 1 Aerogenerador de minieólica E 30 PRO marca ENAIR.
Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pr>

Según su ficha técnica, se trata de un aerogenerador tripala, dentro de sus características destacan por ser de utilidad para esta investigación: potencia de 3 kW, potencia nominal de 1900w, velocidad de arranque 2m/s, rango de generación eficiente de 2 a 60 m/s.

A continuación, se presentan tanto la curva de potencia como la producción de energía anual de este aerogenerador en función de la velocidad de viento.

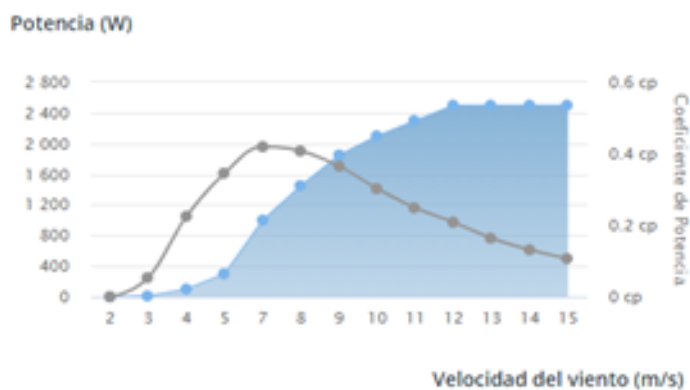


Fig. 2 Curva de potencia, Aerogenerador de minieólica E 30 PRO.
Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>

En concordancia con las indicaciones del fabricante, su producción nominal de energía se sitúa en 30 kWh/día a velocidades de viento entre 8 y 12m/s, es en estos valores donde igualmente incrementa la potencia entregada llegando en 12m/s a un punto máximo, aproximadamente 2.5kW con un coeficiente de potencia de 0.2.



Fig. 3 Curva de producción energética anual, Aerogenerador de minieólica E 30 PRO. Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>

Conforme a lo mostrado por la curva de producción energética anual, la energía necesaria para el mantenimiento de la vivienda propuesta por esta investigación puede ser suplida por el aerogenerador elegido, en velocidades de viento iguales o superiores a 4m/s

Condiciones geográficas y climáticas de la ciudad de Tunja necesarias para generación de energía eólica

Tanto el clima como la geográfica de Tunja se encuentran indudablemente ligados a los de su departamento, Boyacá, debido a que este territorio se encuentra en el interior del país, las expectativas de intensidad de viento suelen ser menores que en las zonas costeras como lo describe [13] “...en abril, en octubre y noviembre los vientos en el centro del país se debilitan. Sin embargo, se mantienen intensidades que alcanzan los 6 m/s en La Guajira y cercanas a los 4 m/s en el litoral central de Bolívar y Atlántico, límites entre Boyacá y

Cundinamarca, Piedemonte Llanero de Meta y Casanare”, sin embargo, la riqueza geográfica del departamento sugiere una amplia variedad de corrientes que circulan por él, ya sea en zonas llanas o montañosas, por lo que allí se presentan un gran rango de velocidades de viento, como se puede comprobar en el siguiente mapa, en territorio boyacense se encuentran velocidades de entre 2 a 6 m/s. Estos datos corresponden a la última toma arrojadas por el IDEAM.

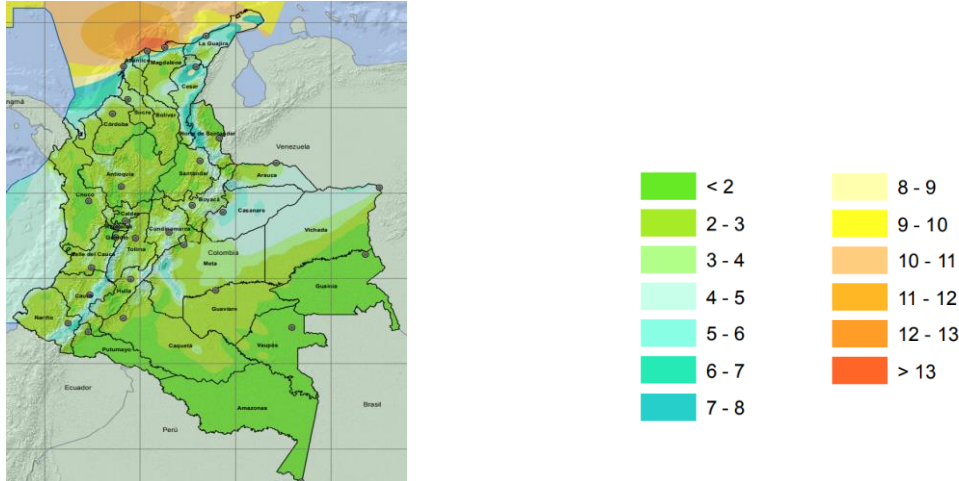


Fig. 4. Atlas de viento en Colombia. Velocidad promedio del viento.

Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

Teniendo en cuenta la variedad de condiciones que presenta el departamento, es posible contextualizar a la ciudad de Tunja con algunos ejemplos referentes a propuestas de generación eólica en otros municipios de Boyacá:

Durante 184 días se adquirieron datos de velocidad de viento en la estación meteorológica de Los monjes (3534 m.s.n.m), municipio de Sotaquirá lo cual arrojó un promedio de 4.57 m/s. De acuerdo a la estimación realizada, usando un aerogenerador de 10kW de potencia nominal, esta zona tendrá una producción de 4079.84 kWh suficientes para abastecer 14 viviendas con un consumo de 1.55kWh/día. [14]

En relación al presente documento, esta producción energética llega a suplir la demanda de 18 viviendas aproximadamente, recordando que se ha supuesto un consumo de 231.6 kWh/mes por vivienda.

[15] Proponen proyecto de generación eólica a través de cuatro parques eólicos: Samacá I, Samacá II, Sugamuxi y Tundama con 8, 8, 2 y 3 aerogeneradores, respectivamente. Estos generarán en conjunto una potencia nominal de 52.5 MW que aporten a la producción de energía en el país. De acuerdo a esto se estima una rentabilidad de 7.9%. A continuación, se presentan los aspectos importantes de la propuesta. En la propuesta de diseño y construcción de un aerogenerador para el municipio de Aquitania Boyacá, encontraron que, según el mapa de vientos de Colombia, el valor de velocidad en este municipio es de 3 m/s sin embargo, [16] Los datos obtenidos de las mediciones arrojan una velocidad promedio del viento de aproximadamente 10 m/s. Con esta información y con el fin de generar 1000 W de potencia, se elige usar un aerogenerador de eje horizontal de 3 aspas, rotor a barlovento debido a sus ventajas en estabilidad mecánica y sin necesidad de requerir un sistema de arranque.

Característica			Samacá I	Samacá II	Tundama	Sugamuxi
Velocidad	media	100m	9,24	7,15	5,15	5,97
(m/s) ²						
Potencia unitaria (MW)			2,5	2,5	2,5	2,5
Numero	de		8	8	3	2
aerogeneradores						
Potencia nominal instalada (MW)			20	20	7,5	5
Energía Neta	Producida		97312	75619	13775	13314
Anual (MWh/año)						
ENFICC (MWh/año)			10512	10512	3942	2628
Horas anuales equivalentes (h)			4866	3780	1837	2663
Factor de Carga			0,56	0,43	0,21	0,3

Fig. 5 Propuesta de parques eólicos en Boyacá.

Fuente: [2]

Stacked bar chart showing the number of days per month for each season in the Northern Hemisphere. The Y-axis represents the number of days (0 to 30). The X-axis lists the months from Jan to Dec. The legend indicates: Spring (light blue), Summer (medium blue), Autumn (dark blue), and Winter (light orange).

Month	Spring	Summer	Autumn	Winter
Jan	0	0	0	31
Feb	0	0	0	29
Mar	0	0	0	31
Apr	0	0	0	30
May	0	0	0	31
Jun	0	0	0	30
Jul	0	0	0	31
Aug	0	0	0	31
Sep	0	0	0	30
Oct	0	0	0	31
Nov	0	0	0	30
Dec	0	0	0	31

Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tunja_colombia_3666608

De acuerdo con información obtenida de meteoblue [8] durante el año 2019 la velocidad de viento en la ciudad de Tunja se presume entre 5 y 19 km/h lo que es igual 1.3 y 5.4 m/s. Obteniendo así una velocidad promedio de 12 km/h que resultan ser aproximadamente 3.33m/s a lo largo del año, velocidades equiparables a la clasificación menos actual realizada por [16] en el campus de la universidad Santo Tomás, consiguiendo mediciones de entre 0,5 y 3 m/s, a través de la caracterización de datos afirman que en esa zona de la ciudad se presenta con mayor frecuencia velocidades iguales o superiores a 3 m/s. La intensidad del viento suele ser mayor entre diciembre y abril, y se presentan vientos más ligeros de junio a octubre. La dirección del viento definida por la rosa de los vientos de la estación meteorológica de la UPTC indica que el viento se mueve predominantemente de Nor-Oeste (WNW) a Sur- Este (ESE).

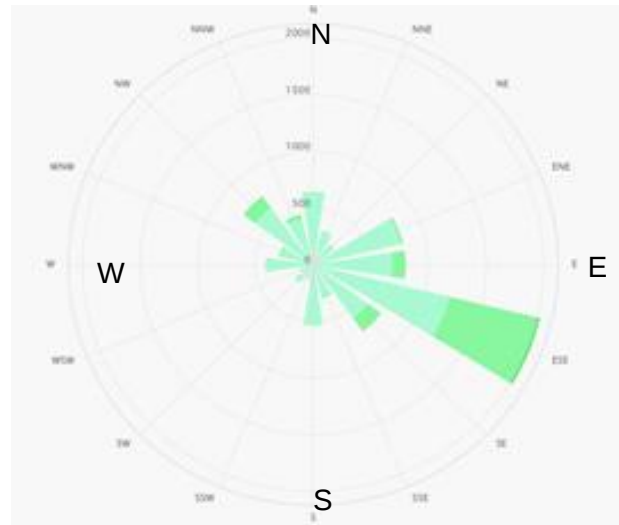


Fig. 7 Velocidad de viento en Tunja 2019. Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tunja_colombia_36666

Resultados

En la siguiente tabla podemos observar el comportamiento de la producción neta de energía en la ciudad de Tunja, capital de Boyacá y el comportamiento que tiene en el municipio de Sotaquirá, también exponiendo el requerimiento que plantado para suplir la necesidad energética de una vivienda promedio, estimando 231.6 kWh/mes, por ende se presenta el requerimiento de consumo, mínimo y la velocidad que se debe obtener para la alcanzar el valor de este, basándonos en las gráficas generadas por meteoblue, donde sacamos la proporcionalidad que debe tener para la exigencia requerida, y haciendo una comparativa muy valiosa entre la ubicación geográfica de Tunja, y Sotaquirá, dos municipios del departamento de Boyacá, donde es necesario tener conocimiento de la ubicación geográfica.

Para el desarrollo de esta comparación, se ha tenido en cuenta, la curva de producción anual de energía que nos brinda la posibilidad de determinar la velocidad del viento en cada punto, y la producción de neta anual de la energía generada, teniendo en cuenta, además, la velocidad mínima de funcionamiento del aerogenerador y teniendo en cuenta la velocidad promedio de viento que corre en estas zonas.

Ubicación	Vel. Viento [m/s]	Producción Neta [kWh/Año]	Potencia Aerogenerador [kW]
Aerogenerador E30PRO	4	2790	3
Tunja (2810 m.s.n.m)	3.33	2100	3
Sotaquirá (3534 m.s.n.m)	4.57	4079.84	10

Tabla 2. Comparación de velocidad de viento y producción de energía eólica en Boyacá. Fuente: Autor

Conclusiones

A partir de la comparación cualitativa-cuantitativa realizada, es posible interpretar que, debido a su velocidad de arranque (2 m/s) y rango de funcionamiento (2-60 m/s), el aerogenerador propuesto, sugiere un correcto funcionamiento en la ciudad de Tunja, debido a que la velocidad promedio de dicha región es de 3.33 m/s. Sin embargo, la producción de energía neta se ve afectada teniendo en cuenta que con la velocidad promedio de la ciudad, el aerogenerador no logra cumplir las expectativas de producción de energía.

El dimensionamiento planteado en este documento presenta alta exigencia energética en relación las velocidades de viento de Tunja. Por este motivo se sugiere para futuras investigaciones, replantearse, teniendo en cuenta dos factores: el viento, suele tener mayor intensidad a mayor altura, como es el caso de Sotaquirá; la producción de energía anual neta puede ser aprovechada de mejor manera mientras menor sea la demanda energética que deberá abastecer.

En abril y mayo hay un descenso en la eficiencia que puede tener la velocidad del viento, donde hay que tener en cuenta estas variables a una proporción anual, donde podría haber insistencias de energía.

Referencias

[1]. R. M. Víctor René, «Vientos de Cambio,» Revista Procesos vientos de cambio., nº 2, p. 24, 2011.

- [2]. J. J. Soto Gutiérrez, «Desarrollo De La Energía Eólica En Colombia,» Universidad De América, Bogotá, 2016.
- [3]. Barbosa-Urbano, J., Santamaría, W. G., Mayorga, M. A., & García-Reyes, D. M. (2014). Iluminación con energía solar fotovoltaica para autoservicios en Bogotá. *Ingenio Magno*, 5(1), 81-94.
- [4]. P. A. Moreno Cortes, «Energía Eólica: Ventajas Y Desventajas De Su Utilización En Colombia,» Bogotá, 2013.
- [5]. ONU, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» ONU, Septiembre 25 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso: 1 Diciembre 2019].
- [6]. Ochoa, C. M., Betancur, J. D. H., & Múnera, Ó. M. G. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. *Cuadernos de Administración*, 25(44), 193-231.
- [7]. Castañeda, W. F. Á., Fajardo, A. A., & Tejada, L. M. (2013). Evaluación del potencial eólico en el campus de la Universidad Santo Tomás Tunja. *Ingenio Magno*, 4(1).
- [8]. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, «Distribución horaria de la velocidad del viento en zonas con mayor aprovechamiento de potencial eólico,» Bogotá, 2015.
- [9]. Siabato Benavides, R. C. Identificación de proyectos con potencial de generación de energía eólica como complemento a otras fuentes de generación eléctrica en el departamento de Boyacá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).
- [10]. R. Damiane, Interviewee, Director general de Green Yellow Energy para Colombia. [Entrevista]. 3 Septiembre 2019.
- [11]. Santos, É., Pimentel, F., Côte Real, G., Ribas, M., Petry, A., Boscato, S. & Klas, J. (2019). *Energía Eólica (Versão com Libras)*.
- [12]. "AEROGENERADORES ENAIR 30 PRO", ENAIR, 2019. [Online]. Available: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>. [Accessed: 04- Dec- 2019].
- [13]. "Velocidad de viento en superficie", in *Atlas de viento y Energía Eólica de Colombia*, 2017, p. 20.

[14]. Cusarúa, A. A., & Quiroga, J. V. (2013). Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá, departamento de Boyacá a 3534 msnm. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 10(2), 18-26.

[15]. Siabato Benavides, R. C. Identificación de proyectos con potencial de generación de energía eólica como complemento a otras fuentes de generación eléctrica en el departamento de Boyacá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

[16]. Carreño-Bodensiek, C. (2015). Diseño y Construcción de un Prototipo para Aerogeneración de 1kW. *Ingenio Magno*, 5(1), 52-60.



Diseño y construcción de una extrusora para polímeros

Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento, Jeisson David Pineda Cadena

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás
Tunja, Boyacá, Colombia*

Resumen

El presente trabajo describe el proceso de construcción de una máquina extrusora para polímeros, con capacidad para fundir material a partir de 100 hasta 300°C. Esta máquina posee un elemento principal que es el tornillo y es la base de la máquina ya que transporta el fluido en todo el proceso de fundición. Para poder controlar esta máquina hay que tener un sistema de control el cual lleva 4 resistencias en el trayecto del proceso, dos resistencias a la entrada y dos resistencias a la salida, cada resistencia se puede controlar independientemente para una mejor fundición dependiendo el polímero. La extrusora tiene que estar en una estructura cómoda para su uso y que soporte su peso, esta estructura está construida en tubos de acero de una pulgada.

Palabras Clave. Extrusora, polímeros, husillo.

Diseño

Se realiza un diseño de la extrusora de polímeros que sea factible para su uso y también asequible al momento de construirla. Para empezar con el diseño es importante tener en cuenta los aspectos de diseño que se dan.

- El tornillo debe tener un diámetro de 1"
- La temperatura requerida es de 150 a 300°C. para lograr la fundición de los polímeros que se va a trabajar.
- Se requiere una producción de 10kg por hora.
- La conexión de la energía que necesita la extrusora puede ser monofásica, bifásica o trifásica.

Construcción

Para el husillo hay que tener en cuenta unos parámetros necesarios para su elaboración. (Figura 1)

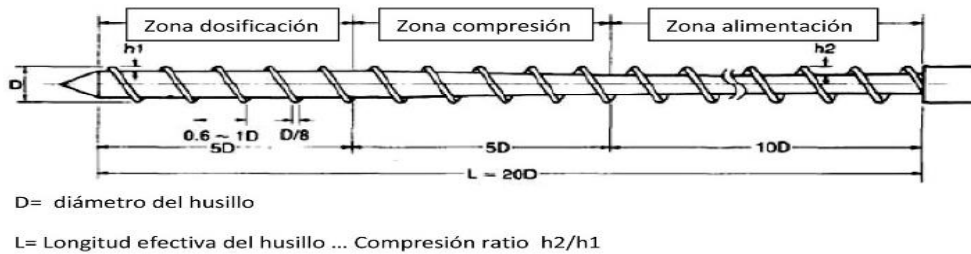


Fig. 1. Parámetros del husillo.

A. El diámetro del husillo es de 2.54 cm. Según parámetros de la figura 1.:

- Longitud del husillo es de 50cm.
- Longitud de la zona de alimentación es de 25cm.
- Longitud de la zona de compresión es de 12.5cm
- Longitud de la zona de dosificación es de 12.5cm.

El sistema de control maneja una temperatura de entrada y una temperatura de salida para evitar que el material salga solido si la velocidad es alta, o demasiado liquido si hay baja velocidad, como por ejemplo que el material salga crudo o quemado. Este sistema de control cuenta con 4 resistencias en todo el trayecto para regular la temperatura, cada resistencia se opera individualmente.

B. La velocidad de la extrusora es de 60-70 rpm. Que se puede regular por un moto reductor o manualmente.

El material que se va a trabajar son los polímeros.

La temperatura de fundición de estos mismo va desde 150°C. hasta los 300°C. a acepción de otros que funden a más temperatura, debido a esto los polímeros que se pueden fundir en la extrusora son:

- PET (tereftalato de polietileno).
- HDPE (polietileno de alta densidad).

- LDPE (polietileno de baja densidad).
- PVC (cloruro de polivinilo).
- PP (polipropileno).
- Poliestireno PS.

Estructura

A. El soporte de la estructura está construida por un tubo de acero cuadrado de 1" y soldado con electrodos E6013 de soldadura eléctrica. (Figura 1)



Figura 2. Estructura de extrusor

Fuente: Los autores.

B. La camisa del husillo esta mecanizada con aluminio y esta soldada con soldadura TIG (Tungsten Inert Gas). (Figura 2)



Figura 3. Husillo, tolva y camisa. Fuente: Los autores

C. La pieza principal de una maquina extrusora es el husillo. (Figura 2)

D. La tolva esta mecanizada con una lámina de aluminio reciclada e igual que la camisa, esta soldada con soldadura TIG. (Figura 2)

3.5) La extrusora cuenta con 4 resistencias distribuidas a lo largo de la camisa. (Figura 3)

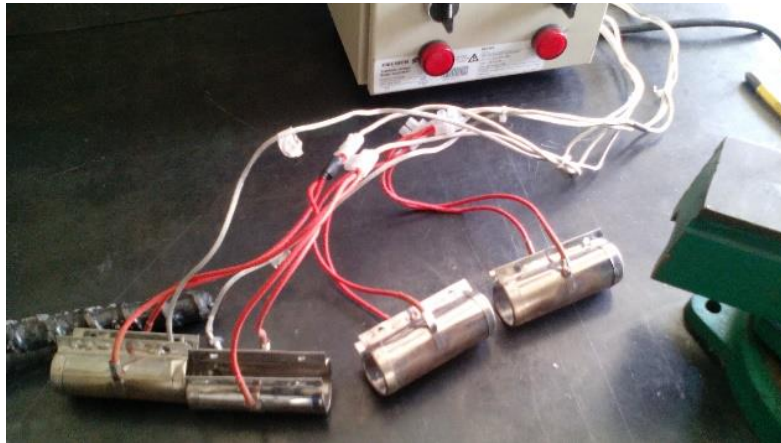


Figura 4. Resistencias (2 pares). Fuente: Los autores.

Para la regular la temperatura hay que tener un sistema de control. (Figura 4)



Figura 5. Sistema de control.

Fuente: Los autores.

E. La velocidad en esta máquina está compuesta por un sistema mecánico.

Este sistema está compuesto por un juego de engranajes y una manivela. Este proceso se realiza manualmente.

F. Tiene una Chumacera con Rodamiento 30MM KP08 en la estructura de la máquina. (Figura 1).

Desarrollo/ análisis / Resultados / Argumentación

Como resultado de este trabajo se obtuvo la extrusora para polímeros con las características indicadas (Figura 5), adicional se logro la construccion de varios elementos empleando material fundido en la extrusora. (Figura 7,8,9)

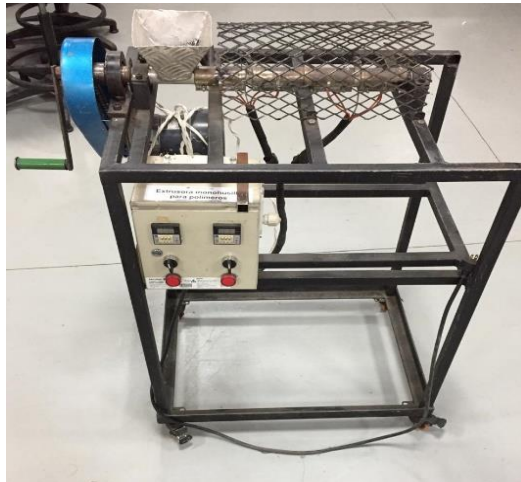


Figura 6. Maquina extrusora monohusillo.

Fuente: Los autores.



Figura 7. Maquina extrusora en funcionamiento.

Fuente: Autores.



Figura 8. Prueba de unión polímero-guadua.
Fuente: Los autores.



Figura 9. Polímero fundido usado en chasis de VTH.
Fuente: Los autores.

Conclusiones

Se observa que la maquina fue construida satisfactoriamente cumpliendo todos los parámetros requeridos inicialmente.

Con el diseño y la construcción de la maquina extrusora se quiere demostrar el funcionamiento, así mismo el potencial de aprendizaje didáctico a la industria dedicada a la producción de plástico.

Con esta máquina se puede realizar varios tipos de piezas como laminas plásticas, barras macizas, películas, perfiles, tubos, etc. Cabe aclarar que la producción de cada una de estas piezas depende del diseño del cabezal y otros factores como temperatura, velocidad y presión.

Referencias

- [1]. Delgado, P., & Hugo, V. (2019). Diseño e implementación del nuevo sistema de control para la maquina extrusora Haake Rheomex CTW100P del Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional (Bachelor's thesis, Quito, 2019.).
- [2]. González Mancilla, Y. M., Sarmiento, S., Rodrigo, J., & Vargas Flórez, J. A. (2018). Uso de almidón de papa modificado como agente acoplante en compuestos polímero-fibras de madera. *Prospectiva*, 16(1), 107-113.
- [3]. Morales Iles, R. X. (2018). Diseño y construcción de una máquina recicladora y extrusora de PLA para el Observatorio Astronómico de Quito de la EPN (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).
- [4]. Oliveira, U. C., Pereira, T. Z., & Damas, M. S. (2018). MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D.
- [5]. Pardo Peña, L. C. M., & Giraldo Saldarriaga, A. F. (2019). Rediseño de una máquina extrusora de plástico (Bachelor's thesis, Ingeniería Mecatrónica).
- [6]. PRADO ESPINOSA, C. D., & LASSO JURADO, D. O. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRUSORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN POSTE DE CERCA A ESCALA EN SAN JUAN DE PASTO (Doctoral dissertation, AUNAR).
- [7]. Salamanca, J., Acosta, L., Higuera, F., & Rojas, B. (2019). DESARROLLO DE CHASIS DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA, A BASE DE GUADUA Y POLÍMERO. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 9(2).
- [8]. Sarmiento, J. R. S., Joya, L. F. A., Higuera, F., & Burgos, N. D. P. (2018). Diseño y construcción de una prensa de calor, para plásticos y materiales compuestos. *Ingenio Magno*, 9(2), 61-73.
- [9]. Salamanca-Sarmiento, J. R., & Vaca-Rodríguez, J. S. (2017). Caracterización de un material compuesto de Tetra Pak, reforzado con

polietileno de baja densidad (PEBD) y conformado en prensa de calor. Ingenio Magno, 8(1), 132-147.

[10]. González-Mancilla, Y. (2016). Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico hecho de polietileno de baja densidad reciclado y reforzado con fibras de madera natural. Ingenio Magno, 6(2), 76-85.

[11]. Hernández, S. A., & Rivera, E. C. (2018). Análisis teórico-práctico de esfuerzos y por elementos finitos de un ensayo de tracción. Ingenio Magno, 9(1), 42-55.



Avances de la fibra de carbono en la actualidad

Juan Sebastián Largo Espitia¹, Edwin Rua Ramírez²,
Adriana Granados Comba³

^{1,2}Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás seccional Tunja,

³Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Resumen

En la actualidad este polímero reforzado con fibra de carbono ha estado presente en los últimos avances tecnológicos, debido a sus excelentes propiedades, teniendo una alta resistencia a la tracción y un peso muy ligero, es utilizado ya sea en el deporte, en la industria automotriz, en la aeronáutica etc. El objetivo principal de esta investigación es abordar todos los temas relacionados con los diseños y avances de este polímero, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas que posee este material con respecto a la función que vaya a implementar, con el fin de tener una información más clara a la hora de utilizarlo en algún proyecto o prototipo.

Palabras clave: Diseño, resistencia, investigación, polímero.

Introducción

En primer lugar, este polímero reforzado es un material compuesto de tipo polimérico, es muy utilizado en proyectos que necesitan mayor resistencia ya sea a la fricción o en cualquier ambiente que requiera mayor esfuerzo, es por eso que este material está compuesto por una matriz o resina la cual contiene un refuerzo a base de fibras en este caso fibras de carbono donde su materia prima es el poliacrilonitrilo, las grandes industrias automotriz que vemos actualmente utilizan este compuesto en los autos deportivos, las aeronaves y últimamente se está utilizando en la construcción con el fin de reparar estructuras existentes aprovechando sus propiedades.

Las técnicas de aprovechamiento de subproductos y reutilización de materiales para la construcción o el mejoramiento de carreteras se conocen hace más de cincuenta años. Esta técnica ha generado la reducción en los costos y ha permitido reducir el impacto sobre el medioambiente (Martínez et al.2016)

En el trascurso del tiempo se han venido desarrollando nuevos plásticos antes y después del año 1939 donde implementaban métodos de producción para partes automotrices con el fin de remplazar algunas partes metálicas por partes plásticas solo cuando no se tenía en cuenta o no era de gran importancia su resistencia mecánica, más adelante empezaron a utilizar las fibras artificiales tenían como objetivo disminuir el peso del objeto y aumentar su resistencia, actualmente se usan en las industrias grandes como la aeronáutica, automotriz y demás industrias, un ejemplo claro es la creación de nuevos aviones militares estos utilizan compuestos de polímeros reforzados con fibras desde hace aproximadamente dos décadas esto permite ahorrar combustible y aumentar el espacio interior del avión.

El trabajo es de los ingenieros ya que diseñan la mayoría de los productos manufacturados y los procesos adecuados para su fabricación. Por lo que los ingenieros deben conocer la estructura y propiedades de forma que sean capaces de seleccionar el más idóneo para su aplicación y desarrollar los mejores métodos para su procesado y fabricación (Carrasco Reinoso, 2016).

Sin embargo, los fabricantes investigan nuevos materiales que les permita disminuir los costos de fabricación y cumplir con los parámetros relacionados con el medio ambiente, en esta investigación tendremos en cuenta los avances tecnológicos relacionados con la fibra de carbono enfocados en la ingeniería mecánica.

Estado del arte

En esta investigación se toma como tema principal la fibra de carbono teniendo en cuenta sus avances en el diseño y en las aplicaciones,

como sus ventajas y desventajas a la hora de utilizarlo, en la actualidad este material los utiliza las grandes industrias como la automotriz, aeronáutica y hasta en el deporte gracias a su resistencia.

Los materiales surgen entrelazados con nuestra sociedad de consumo: hoy es difícil imaginar una sociedad que no haga uso de los plásticos, los cuales se encuentran en una gran variedad de usos, en campos tan diversos como electrodomésticos, embalajes, construcción, medicina, electrónica y componentes de automoción y aeroespaciales (González-Mancilla, 2016).

Metodología

Una necesidad de las instituciones educativas y empresariales es conocer las últimas tecnologías en las que se está trabajando en el ámbito mundial, así como los últimos desarrollos y productos que se encuentran

disponibles en el mercado. Por ello, se hace importante conocer las líneas de investigación, las tecnologías emergentes y las tecnologías potencialmente obsoletas (Victoria-Díaz et al.2016)

Para el desarrollo de esta investigación se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

1. Composición del material y sus propiedades principales
2. Diseños y aplicaciones que tiene el material en los diferentes campos industriales
3. Avances que ha tenido la fibra de carbono en los últimos años
4. Ventajas y desventajas que presenta la fibra de carbono

A. Composición del material y sus propiedades

La fibra de carbono es un material compuesto de tipo polimérico conformado por fibras trenzadas entre sí, su materia prima es el poliacrilonitrilo gracias a su estructura molecular el material es muy resistente y liviano teniendo propiedades similares a las del acero sin

embargo la fibra de carbono es más resistente a los impactos donde presenta una estructura cristalina de átomo de carbono, las fibras de carbono es un refuerzo que se combinan con otros materiales con el fin de formar un compuesto donde aportan flexibilidad a la pieza y resistencia.

Los materiales compuestos se fabrican combinando dos o más materiales que son: la matriz (plástico), material de refuerzo (fibras o partículas) y aditivos. La matriz junta las fibras, transfiere la carga, da la forma de una estructura, separa las fibras y provee un acabado superficial de buena calidad que protege de la influencia del medioambiente. Cuando empezaron la producción de vehículos, usaron materiales que se podían encontrar en la naturaleza sin necesidad de hacer alguna aleación o proceso extra, por ejemplo, la defensa del primer coche FORD (Błędzki et al.2014).

A continuación, presentaremos los procesos de fabricación el cual consta de 5 pasos:

1. Paso: primero se estiran las fibras y le dan orientación molecular con el fin de tener una estabilidad dimensional.
2. Paso: en seguida se oxida el polímero en aire donde añaden oxígeno a la molécula y crean la estructura hexagonal.

Paso: después de tener la estabilidad en la fibra, estas son sometidas a temperaturas de aproximadamente 1.000°C donde consiguen una resistencia media, cuando necesitan una resistencia alta las fibras son sometidas a temperaturas de hasta 2600°C , durante este proceso los átomos de nitrógeno desaparecen.

Paso: en este paso se requiere un nuevo tratamiento de calentamiento por encima de 2000°C , donde el tamaño de los cristales de carbono aumenta.

Paso: por último, la fibra pasa a través de una máquina y esta aplica un producto catalizador que ayuda a la adhesión de la fibra a la resina.

Se caracterizan por una elevada resistencia mecánica, baja densidad, y buena resistencia a los agentes externos. El bajo alargamiento a

rotura de estas fibras puede considerarse una desventaja, pero da como contrapartida un excelente comportamiento a fatiga (Guaillaguaman et al.2019).

Las propiedades principales que favorece este material compuesto son las siguientes:

- Tiene un elevado costo de producción.
- Resistente a los cambios de temperatura.
- Tiene gran flexibilidad.
- Su aspecto y diseño es muy elegante además es un componente duradero
- Tiene alta resistencia mecánica.
- Conductor de electricidad.

B. Diseños y aplicaciones que tiene el material en los diferentes campos industriales

Diseño y aplicaciones en la Industria automotriz: La industria automotriz siempre está avanzando y mejorando sus materiales que utilizan a la hora de construir un vehículo, en este caso la fibra de carbono, las industrias actualmente están integrando la fibra de carbono en diferentes tipos de piezas principalmente los vehículos de fórmula 1 estos están diseñados un 70% de fibra de carbono donde se destaca por sus propiedades, como lo mencione anteriormente es más fuerte que el acero y más resistente que el aluminio, tampoco presenta corrosión por lo tanto su durabilidad es mayor, al ser un material muy ligero permite utilizar menor cantidad de material y tener la misma resistencia que una pieza metálica, y su costo de producción no es tan alto en algunos modelos, sin embargo este material está muy presente no solo en las partes superficiales del vehículo si no también en la parte externa del bloque remplazando piezas metálicas por piezas elaboradas en fibra de carbono.

Entre las líneas de investigación se cuentan: simulación y pruebas de MCI, producción de biogás con digestores anaeróbicos, aclimatación de motores, gestión energética con motores Diesel, desarrollo y adecuación de equipos para pruebas de inyección electrónica de

gasolina, estudio exploratorio de metales pesados en material particulado de emisiones de exosto de motores Diesel (de Jesús et al.2018)

En la actualidad este material es muy utilizado también en los autos deportivos o exclusivos por su elevado costo, pues estos autos superan el valor del millón de dólares, por lo que la mayoría de las industrias exclusivas como lo son Ferrari, Lamborghini, etc. Utilizan este material con el fin de mejorar su resistencia y reducir el peso del vehículo, dándole un aporte con ello a la reducción de consumos, sin embargo la fibra de carbono a veces no es utilizada por sus propiedades, es utilizada simplemente por estética del vehículo, un ejemplo las carcasas de los retrovisores o las piezas interiores de lujo, también es utilizada en los componentes aerodinámicos como difusores y alerones que permiten mejorar la estética del vehículo y aligerar el peso mientras gana resistencia al igual que las llantas son más resistentes y ligeras.

Por último, la fibra de carbono en el campo automotriz es esperanzador, probablemente el avance de la tecnología y del proceso de elaboración sea más económico de esta forma empezara a ser más asequible para las marcas menos exclusivas, superando así una de sus grandes desventajas.

Diseño y aplicaciones en la Industria aeronáutica: La industria aeronáutica es la que diseña los aviones y misiles es una ingeniería que actualmente está dando mucho de qué hablar, el avance tecnológico en la aeronáutica junto con la necesidad de reducir el uso del combustible durante el vuelo ha tenido mucho interés en la fibra de carbono como solución alternativa al uso del aluminio, en la actualidad las compañías ponen interés en reducir el peso de los aviones con el fin de reducir el tiempo y el costo de trayecto entre menos peso, menor va hacer el consumo de combustible y entre más peso mayor va hacer el consumo.

Uno de los principales avances de la industria aeronáutica es la introducción de materiales compuestos, en particular de carbono

materiales de polímero reforzado con fibra (CFRP), para la construcción de aviones ligeros que conducen a una reducción de la utilización costos y el aumento de la efectividad de la estructura (Segreto et al.2019).

Los ingenieros en la actualidad tienen en cuenta lo aerodinámico es allí donde la fibra de carbono está más presente ya que aporta muy buenos acabados y ayudan a un mejor rendimiento de vuelo, también ofrece soluciones que mejoran la resistencia en las piezas importantes como lo son las alas, es donde recae todo el peso de la aeronave al momento de aterrizar, uno de los últimos avances que se ven en la aeronáutica es la fabricación de alas en fibra de carbono que tiene forma de flecha esto ayuda a disminuir un 5% de combustible.

En un futuro el diseño de estos proyectos podría mejorar de manera significativa como en el momento de despegue y la relación de arrastre lo que permitiría que la aeronave sea más eficiente en el tema de la aerodinámica y el peso.

Fibra de carbono en el deporte: La fibra de carbono en el deporte ha tenido un gran avance tecnológico ya sea en el ciclismo, atletismo o en la fórmula 1 etc. Por ejemplo, en el caso del ciclismo la fibra de carbono ha sido de gran ayuda para los ciclistas ya que les ha permitido ahorrar un gran peso en su bicicleta pues su parte principal que es el marco es fabricada en este material con el fin de que el ciclista aumente su rendimiento en la carrera y la resistencia y durabilidad de la bicicleta sea más eficiente y aerodinámica.

Debido a lo anterior, en la fabricación de cascos para ciclismo se emplea resinas epóxicas reforzadas con fibras de carbono, siendo usada la fibra de tipo unidireccional en la mayoría de los casos y se orienta en varias direcciones (0, 22.5, 45 y 90 grados), con el objeto de que el casco pueda soportar en diversas direcciones las diferentes cargas a que va a estar sometido (Caicedo et al.2009).

Sin embargo, la tecnología cada día avanza y no solo los cambios se ven en las partes de fibra de carbono si no también en sus partes

mecánicas como los son los frenos, la mayoría de las bicicletas son eléctricas que contiene freno de disco y eso es de gran ayuda para el frenado de la bicicleta.

Todos los deportes que en un momento utilizaban materiales que no daban gran rendimiento estuvieron favorecidos por este material, como en el tenis las raquetas dejaron atrás la madera y el aluminio y decidieron optar por la fibra de carbono, este material se aplica también en el atletismo ya que es muy utilizado por los deportistas discapacitados donde sus prótesis son elaboradas en este material.

Finalmente podemos decir que con la aparición de este material el deporte está dando un gran avance tecnológico llegando hasta nosotros de forma industrial y gracias a esto nos beneficiaremos de las ventajas que nos ofrece la fibra de carbono.

C. Avances que ha tenido la fibra de carbono en los últimos años

Hoy en día, el rápido desarrollo de la tecnología electrónica y los requisitos para los sistemas y dispositivos electrónicos de alta velocidad son líderes a una mejora creciente de las actuaciones de electrónica y dispositivos de telecomunicaciones, como teléfonos móviles, televisión, conexión inalámbrica sistemas, sistemas de navegación y radar. Un amplio campo de áreas de aplicación abarca desde instrumentos electrónicos comerciales y científicos utilizados en nuestra vida cotidiana para sistemas aeroespaciales y electrónicos militares (Munalli et al.2019).

Cada día los ingenieros e investigadores de las grandes industrias como lo son la aeronáutica y aeroespacial tiende a crear nuevos proyectos donde la fibra de carbono sea más ligera y eficiente, con el fin de conseguir productos con características multifuncionales a un precio competitivo, hoy en día se busca explotar al máximo el potencial del producto buscando mejorar aspectos como la tenacidad a la fractura implantando nuevas técnicas de modificación como la incorporación de nano fibras, nanotubos y una buena conductividad eléctrica que sea capaz de soportar rayos de tormentas eléctricas o solamente cuando se sometan a altas temperaturas, estos primeros

cambios se verán principalmente en las industrias aeronáutica, aeroespacial y también en la automotriz.

D. Ventajas y desventajas que presenta la fibra de carbono

La fibra de carbono es un material que actualmente está dando de qué hablar gracias a sus propiedades increíbles que posee, sin embargo, como todo material tiene sus ventajas y desventajas en este caso hablaremos de las ventajas y desventajas que tiene la fibra de carbono a la hora de utilizarla en cualquier industria.

1. Ventajas:

- una de sus ventajas más importante y que destaca al material es el peso al ser un material muy liviano este permite ser utilizado en cualquier industria ya sea automotriz, aeronáutica etc.
- Otra ventaja que posee es la resistencia al tener esta virtud permite usar menos material y disminuir el peso del objeto.
- este material es muy resistente a la corrosión
- otra ventaja es su durabilidad ya que la fibra de carbono tiene propiedades de fatiga superior y esto hace que los componentes de fibra de carbono tengan mayor tiempo de vida útil.
- La fibra de carbono tiene baja expansión térmica es decir se expandirá o se contraerá menos en condiciones de calor o frío que el acero y el aluminio.
- Es un buen conductor de electricidad

2. Desventajas:

- Su desventaja principal es el precio, siendo un material difícil de elaborar y además necesita un proceso de elaboración largo y que no alcanza para tener una producción constante.
- Es un material muy difícil de reciclar ya que se utiliza resinas termoestables sin embargo es algo que se puede mejorar en un futuro con el uso de resinas termoplásticas.

- La complejidad de su proceso de elaboración y esto hace que los precios sean muy altos y es por eso que los autos deportivos de gama alta lo utilizan.

Conclusiones

En esta investigación acerca de la fibra de carbono quedo claro que, para los sectores industriales como la aeronáutica, automotriz, el deporte, etc. se viene grandes avances tecnológicos que en un futuro van a ser de mucha ayuda teniendo en cuenta la producción, la innovación y la disminución del costo de producción con el fin de cumplir las expectativas del nuevo mercado.

Estos productos fabricados en este material sobresalen por tener diferentes propiedades mecánicas tales como: baja densidad, resistencia mecánica, ligero y durabilidad superando todos los tipos de aceros y aluminios.

El costo de fabricación de este material es más alto que el de los materiales tradicionales, sin embargo las industrias tiene en cuenta este material por economizar costos de fabricación, reduciendo también los costos de mantenimiento y aumentando la vida útil, las ventajas de la fibra de carbono se pueden ver a lo largo del tiempo de uso, sin embargo hoy en día estos materiales tradicionales se siguen utilizando y seguramente no se desplazara el uso de estos de lo contrario serán más utilizados como complemento ideal para optimizarlos y así aprovechar sus propiedades al máximo.

Referencias

- [1]. Victoria-Díaz, M., Rosero-García, J. A., & Prías-Caicedo, Ó. (2016). Vigilancia tecnológica de vehículos eléctricos y tecnologías periféricas en Colombia. *Ingenio Magno*, 7(2), 56-68.
- [2]. Martínez, Y. P., & Higuera-Sandoval, C. H. (2016). Evaluación de mezclas asfálticas reciclables con aditivos: Una alternativa de reducción de impactos económicos y ambientales. *Ingenio Magno*, 7(2), 10-24.

- [3]. de Jesús Henao, E., Piedrahita, C. R., & Gómez, J. A. (2018). Revisión de la investigación en motores de combustión interna en Colombia. *Ingenio Magno*, 9(2), 74-93.
- [4]. González-Mancilla, Y. (2016). Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico hecho de polietileno de baja densidad reciclado y reforzado con fibras de madera natural. *Ingenio Magno*, 6(2), 76-85.
- [5]. Błędzki, A. y Majewski, T. (2013). Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz.
- [6]. Guallaguaman, R., & Geovanny, D. (2019). Obtención de un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para su aplicación en la industria *automotriz* (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Mecánica Mención Diseño).
- [7]. Caicedo, J. C., Ipaz, L., Vanegas, O., Aperador, W., Cundar, A., & Delvasto, S. (2009). Diseño y caracterización de un compuesto fibrorreforzado de matriz polimérica y fibra de carbono como modelo en la implementación de cascos para ciclismo. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 1(3), 1127-1132.
- [8]. Carrasco Reinoso, M. J. (2016). Materiales compuestos poliméricos con matriz poliéster y fibra de carbono y su incidencia en las propiedades mecánicas de tracción (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica).
- [9]. Segreto, T., Bottillo, A., Caggiano, A., & Martorelli, M. (2019). Integration of reverse engineering and ultrasonic non-contact testing procedures for quality assessment of CFRP aeronautical components. *Procedia CIRP*, 79, 343-348.
- [10]. Munalli, D., Dimitrakakis, G., Chronopoulos, D., Greedy, S., & Long, A. (2019). Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 173, 106906.



Aplicación de la energía solar térmica en la actualidad

**Iván Darío González Daza, Cristian David Hernández Garzón, Brayan
Andrés Núñez Prieto, Edwin Rúa Ramírez**

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás
Tunja, Boyacá, Colombia*

Resumen

En la actualidad, la implementación descortés de los combustibles fósiles, recursos naturales no renovables y tecnologías nucleares, para la generación de energía eléctrica y/o calorífica, es la principal característica de lo que se conoce como “sociedad industrializada” permitiendo de esta manera satisfacer las necesidades de las personas siendo contraproducente ya que traen efectos negativos que hemos podido evidenciar en los últimos 50 años, trayendo efectos devastadores para el medio ambiente y disminuyendo la calidad de vida de las personas de forma directa e indirecta. La extracción, manipulación y transformación de recursos naturales no renovables empleados en los procesos de producción de energía como materia prima causan durante el proceso de producción: calentamiento global, agujeramiento de la capa de ozono, lluvia ácida, desertización y residuos radiactivos, incentivando a los gobiernos a promulgar y generar leyes en diferentes sectores con estrictas y restrictivas leyes en cuanto a criterios ambientales, permitiendo evidenciar el papel predominantes de las energías renovables como una solución que conlleve a un desarrollo sostenible de la producción de energía. Desde un enfoque más práctico la aplicación en aumento de las energías renovables resulta fundamental para el reconocimiento de tecnologías amigables con el medio ambiente actualmente, su correcta aplicación y funcionamiento impulsando el mejoramiento de las mismas y promocionando la innovación de nuevas tecnologías que logren llegar a serlo permitiendo resolver la problemática de la crisis energética y contribuyendo positivamente al medio ambiente.

Palabras clave: Calentamiento global, Desarrollo sostenible, Energías renovables, Medio ambiente, Recursos naturales renovables.

Introducción

En la asignatura de energías renovables en coordinación con el ingeniero encargado nos vimos motivados a realizar los Working Papers para ser presentados a la comunidad estudiantil y en general aportando información asertiva sobre las energías renovables y sus diferentes aplicaciones en la generación de energía eléctrica.

Cada país con respecto a su ubicación geográfica tiene un grado de recepción de luz solar, esto brinda una precisión y eficiencia según el ángulo de incidencia de la radiación solar ubicándolo de manera que este sea constante para que su funcionamiento se dé por el mayor tiempo posible anualmente, para esto se debe tener en cuenta las estaciones del año presentes en el país de instalación.

Para determinar la ausencia de radiación solar de una superficie horizontal tenemos un modelo matemático el cual tiene 4 ecuaciones las cuales van muy relacionadas, comenzando por las horas teóricas de brillo solar, la radiación extra terrestre, las horas reales y la radiación solar en superficie horizontal con el fin de obtener el valor de la energía incidente anual.

Historia generalidades de la energía solar térmica

La energía generada por el sol que viaja por el espacio exterior y llega al planeta tierra es la fuente de energía gratis más abundante en la tierra con una cifra aproximada de 885 millones de TWh, cifra la cual suministra el sol al planeta cada año, y según cifras presentadas por la Agencia Internacional de Energía, esta energía es alrededor de 6.200 veces la energía primaria comercial consumida por el hombre en el 2008. (IEA 2011).

Cabe destacar que la tecnología actual para el aprovechamiento de la energía solar térmica puede considerar en una etapa madura hoy en día. Se cuentan con datos históricos sobre esta tecnología: en 1891, Clarence Kemp ingenia el primer calentador de agua con energía solar,

quien posteriormente patenta su invento y lo denomina “CLÍMAX” y fue el primer impulsor comercial de la energía solar térmica. Kemp lo construyó a partir de otros dos inventos: el primero fue el calentador instantáneo de agua desarrollado por Maughan en el año 1870 y el segundo invento fue el calentador de agua de almacenamiento creado por Edwin Ruud en 1889 el cual consistía en un tanque de almacenamiento de agua elevando la temperatura a través de un colector solar. 9 años después William J. Baley, logro conseguir la patente de un calentador de agua solar con principio de funcionamiento mediante circulación del agua y conservación de calor el cual es conocido como termosifón. Un avance importante fue un calentador solar con una alta eficiencia para la época en el año 1936 elaborado por Charles Greeley el cual fue un total éxito en Florida, California y otras partes de EEUU. Pero esta industria tuvo un gran desplome cuando el bajo costo de la producción de gas natural generó que se implementara esta materia energética como fuente principal para realizar el calentamiento de agua.

Hoy en día, se considera que la energía solar térmica puede favorecer positiva y muy significativa a la energía global requerida para la generación de calor. En el 2010 la Agencia Internacional de Energía reportó que el 47% de la demanda de energía a nivel mundial está relacionada con diversas aplicaciones que aprovechan la energía calorífica; exaltando la importancia del aprovechamiento de este recurso gratuito y en mayor medida en el sector industrial. También cabe destacar que en este mismo reportaje la demanda de generación de electricidad correspondió solo al 17% de la demanda mundial (IEA, 2010). Ver figura 1.

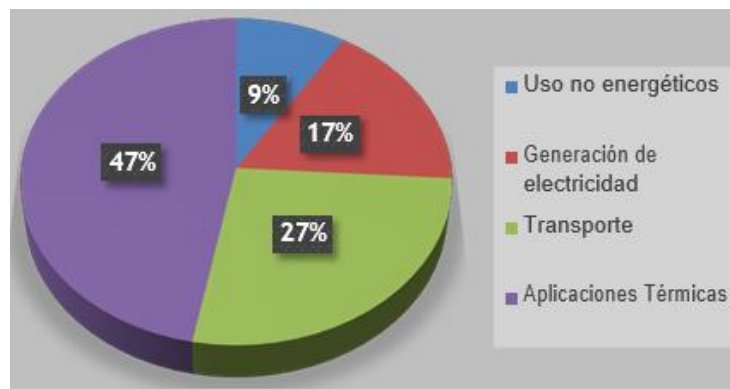


Fig. 1. Demanda global de energía Fuente: IEA (IEA, 2010).

La energía solar térmica puede ser capturada y aprovechada implementando diferentes tecnologías que permitan la mayor cantidad de aplicaciones posibles, en todos los niveles posibles, esto hace referencia a nivel residencial, industrial, entre otros.

La tecnología solar térmica convierte la energía luminosa proveniente del sol en calor cuyo proceso se denomina calentamiento solar, este calor obtenido se transfiere a un fluido de trabajo para aumentar su temperatura e implementarlo en diversas aplicaciones y servicio. Entre sus aplicaciones más frecuentes alrededor del mundo están: proporcionar agua caliente sanitaria, calefacción o enfriamiento de espacios, secado de productos, generar vapor o refrigeración en procesos industriales o comida.

La mayoría de las tecnologías de captación termo solar se encuentran un estado avanzado actualmente ofreciendo al mercado diferentes productos muy competitivos que, con el paso de tiempo, la investigación y la innovación tenderán a mejorar sus costos de fabricación y ventas teniendo una gran participación los estados para generar políticas que incentiven a su adquisición reduciendo al máximo costos como lo son costos de importación, impuestos, entre otros.

Un dato muy importante expuesto en el reporte del estado de las energías renovables presentado por REN21, en el año 2016 se contaba a nivel mundial con una capacidad instalada de 456 GW implementando colectores solares de agua caliente (REN21), esta implementación se hace a través de dos tipos de tecnologías que se ofrecen en el mercado hoy en día los cuales son colectores cubiertos y no cubiertos. La figura 2 presentada a continuación presenta el adelanto a través de los últimos años en cada tecnología de colectores solares

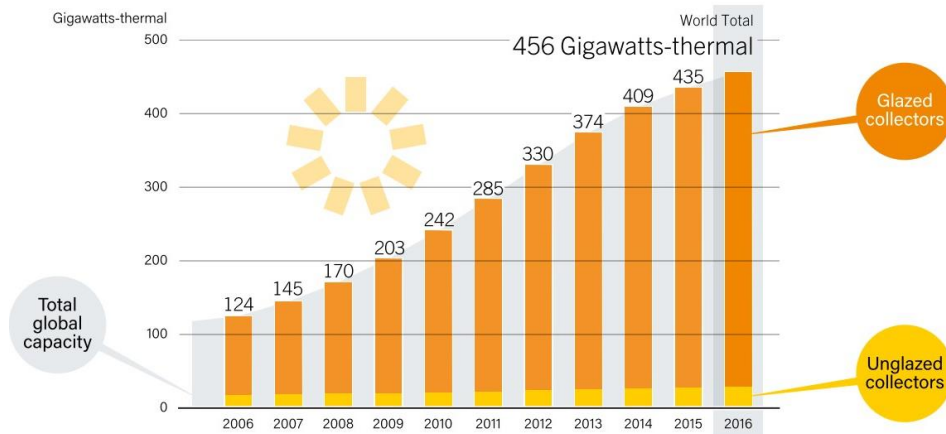


Fig. 2. Capacidad global de colectores solares

Fuente: REN21 (REN21, 2016).

Según el informe de Desarrollo y Tendencias en 2016 publicado por la Agencia Internacional de Energía a finales del año 2015, el país con mayores prospectivas de estas tecnologías tanto en fabricación como en uso y demanda es Cina con una capacidad instalada de unos sorprendentes 309 GW y de mismo modo Europa con 49,2 GW, los cuales en vinculados abarcan el 82.3% de los 435 GW instalados a nivel mundial ese año.

La tecnología que se usa como base para el funcionamiento de la energía termosolar que están implementadas en el sector industrial ha avanzado en gran medida que hoy en día permite alcanzar temperaturas muy elevadas requeridas para procesos industriales específicos que se encuentran en un rango que va desde los 60° C hasta los 280° C, para aplicaciones más complejas como la generación de electricidad se puede alcanzar temperaturas de hasta 400° C. denominada energía solar térmica de media temperatura para el primer caso y de alta temperatura para la segunda aplicación (Ramos-Berúmen, 2017).

Tecnologías

Las tecnologías diseñadas y aplicadas a la generación de energía termosolar se puede clasificar de acuerdo al rango de temperaturas en el cual trabajan, en este sentido, se encuentran las aplicaciones de

baja, media y alta temperatura, trayendo cada una el uso de diferentes tecnologías y materiales que permitan obtener la temperatura deseada bajo el mismo principio de funcionamiento que es captar la energía térmica proveniente del sol.

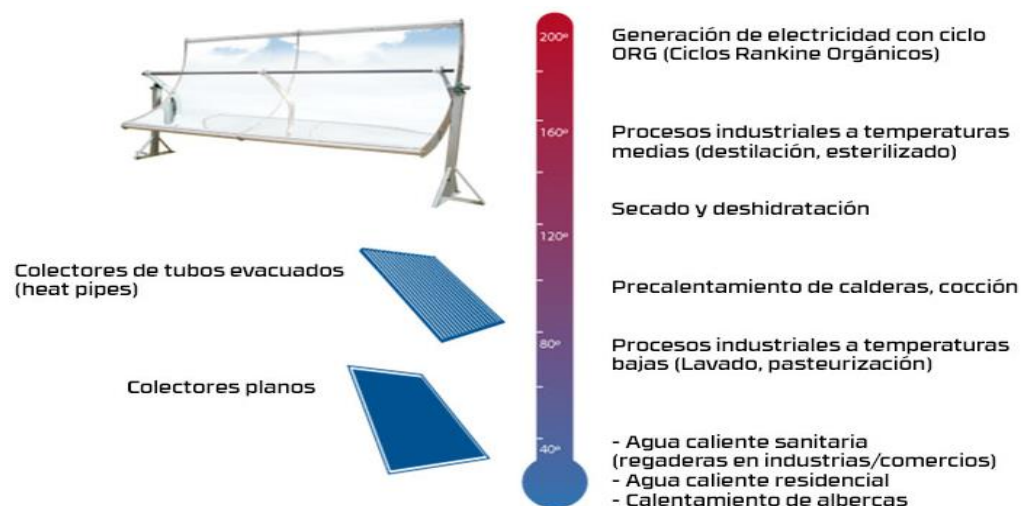


Fig. 3. Tecnologías aplicadas con respecto a la aplicación y rango de temperatura

Fuente: El empleo de la energía térmica en México-CCEEA (CCEEA, 2017)

Las tecnologías aplicadas a la energía solar térmica de baja temperatura, es decir, menores a 100° C, son tecnologías de colectores planos no cubiertos y tubos elevados los cuales se emplean principalmente para producción de agua caliente sanitaria. En aplicaciones de temperatura media el cual se encuentre en el rango de los 100° C hasta los 400° C se emplean principalmente colectores de tubos elevados utilizados especialmente en el sector industrial en refrigeración y calefacción de espacios. Y por último las aplicaciones de alta temperatura las cuales son mayores a 400° C emplean espejos especiales que ayudan a concentrar la energía en un punto o una línea por donde transita un fluido los cuales se implementan específicamente para la producción en energía eléctrica.

Todas las tecnologías descritas anteriormente, implementan un colector que permite capturar la energía térmica proveniente del sol cuyo elemento principal son los absorbentes, siendo los encargados de recolectar la irradiación del sol. Los colectores a su vez cuentan con un

circuito donde a través de él circula un fluido al cual se le va a realizar la transferencia de la energía capturada.

La Agencia Internacional de Energía clasifica las tecnologías de acuerdo al tipo de colector solar térmico, los cuales se dividen en dos:

1. Colector solar térmico sin concentración de calor

Dentro de esta clasificación existen dos tipos principales de colectores los cuales son colectores plano y colectores de tubos elevados, estos son colectores de baja temperatura ya que alcanza a elevar la temperatura del fluido a temperaturas menos a 85°C , para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema, la mayoría de éstos emplean una carcasa que permite el aislamiento y protección de los componentes con el medio ambiente.

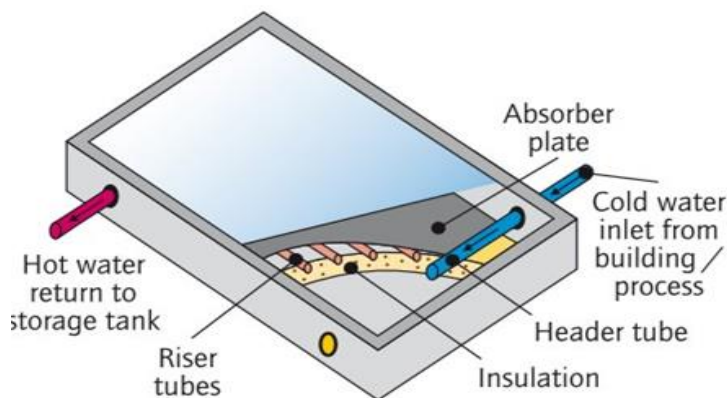


Fig. 4. Colector plano

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2012)

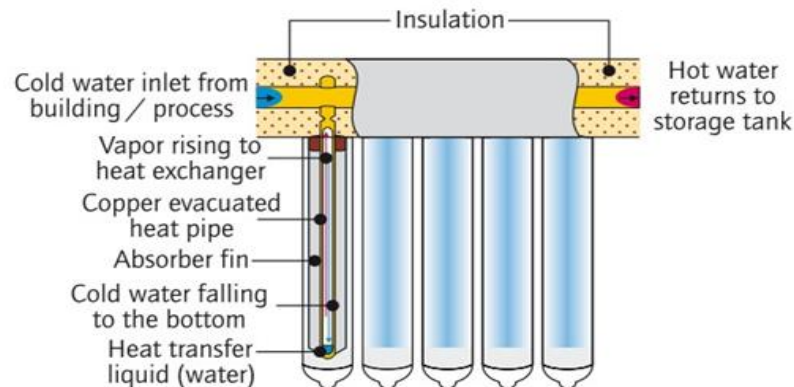


Fig. 5. Colector de tubo elevado

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2012).

2. Colector solar térmico con concentración de calor

Este tipo de colectores concentran la luz del sol desde un área de apertura grande a un área reducida mediante el uso de espejos llamados heliostatos. Cuando la luz es concentrada se transforma en energía calorífica logrando temperaturas superiores a los 200°C los cuales son usados en una gran variedad de procesos industriales como: teñido de fibras, pasteurización, entre otros. Cabe destacar que para conseguir una concentración más efectiva de los rayos del sol, se necesita un cielo lo mayormente posible despejado y por tal motivo estas tecnologías se encuentran ubicada en regiones calientes áridas o semiáridas.

Canal Parabólico

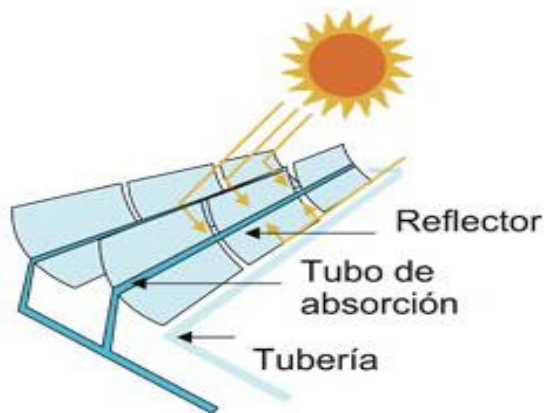


Fig. 6. Canales parabólicos

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2014).

Reflector Lineal Fresnel



Fig. 7. Reflector lineal Fresnel

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2014).

Torre Solar

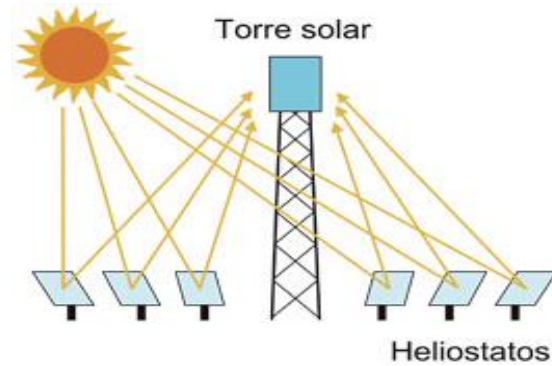


Fig. 8. Torre solar

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2014).

Disco Solar

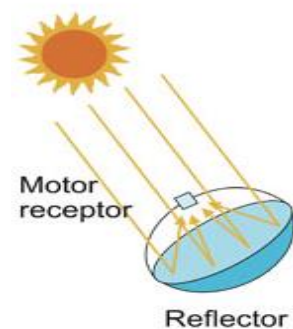


Fig. 9. Disco parabólico

Fuente: MRT de calentamiento y enfriamiento solar (IEA, 2014).

El calor útil (Q_u) viene siendo igual al calor incidente (Q_{inc}) el cual es el que proviene de la radiación solar restando las pérdidas de calor (Q_{per}) que provienen de la transferencia de calor.

$$Q_u = Q_{inc} - Q_{per}$$

La eficiencia de los colectores solares se determina de la siguiente forma:

$$n = \frac{Q_u}{Q_{inc}}$$

El cálculo con respecto al calor incidente en Watios se da con la siguiente ecuación, donde I_p es la irradiación solar promedio, A el área de captación de la radiación multiplicada por el número de tubos y α_s

es el factor de corrección de la radiación incidente que llegan a los tubos de vacío (el cual se determina con la ecuación siguiente):

$$Q_{inc} = I_p * \alpha_s * A$$

Donde t es la transmisividad, a es la absorptividad y P_d es la reflectancia difusa de los tubos:

$$\alpha_s = \frac{t}{1 - (a - \alpha)P_d}$$

Referencias

- [1]. ANES. (2017). Asociación Nacional de Energía Solar. <http://www.anes.org/cms/index.php>
- [2]. CALLE, FAJARDO, SANCEZ. Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/424-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1313-1-10-20160119.pdf>
- [3]. CALLE, TINOCO (2018) Obtención de agua caliente sanitaria con energía solar en el Cantón cuenca y análisis de la contaminación ambiental. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2018000100089
- [4]. CCEEA. (2017). El empleo de la energía solar térmica en México-CCEEA. <https://ccee.mx/energia-solar/el-empleo-de-la-energia-solar-termica-en-México/>
- [5]. Georgina, De La Fuente, Rodríguez. (2018). Reporte de inteligencia tecnológica. Energía termosolar. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341706/IT_TERMO_SOLAR_Final_Rev_1.pdf
- [6]. IEA. (2010). Technology Roadmap Concentrating Solar Power. París: IEA. <https://www.iea.org/newsroom/news/2010/november/world-energy-outlook-2010.html>
- [7]. IEA. (2011). Solar Energy Perspectives. París: OECD Publishing. <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/november/world-energy-outlook-2011.html>

[8]. IEA (2014). Technology Roadmap Solar Thermal Electricity.
París: IEA.

<https://www.iea.org/newsroom/news/2014/november/world-energy-outlook-2014.html>

[9]. Ramos, C., Ramírez, J., & Beltrán, J. (2018). Captador solar de canal parabólico y captador parabólico compuesto. En G. Octavio & P. Isaac, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial (1era ed., pp. 66-77). México: IER..
<http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfTermoSolar.pdf>

[10]. Rodríguez, Humberto. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.
<https://www.redalyc.org/pdf/1210/121015051011.pdf>



Propiedades y aplicaciones de materiales para uso en la industria aeroespacial

¹Jennifer Sofía Cruz Cristancho, ²Carlos Daniel Rojas Flechas,
³Edwin Rua Ramírez, ⁴Ángela González Amarillo

^{1,2,3}Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás seccional Tunja,

⁴Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Resumen

Numerosos estudios han llevado a una selecta gama de materiales que son usados en equipos aeroespaciales, estas predicciones vienen dadas por comportamientos: eléctricos, térmicos y diferentes esfuerzos mecánicos, donde se analizan como factores principales, la dureza y ligereza del material, resaltando que se busca extender cada vez más la vida útil de las piezas/estructuras. El correcto desempeño y larga duración de estas estaciones y elementos dependen de fenómenos que no están presentes en la tierra, tal como el vacío absoluto, además de presiones enormes y temperaturas extremas, sea frío o calor; y de aspectos como firmeza estructural y funcionalidad. Para lo cual, se estudia cada uno de los factores mencionados en el presente estudio, al igual que su método de producción, esto para la construcción de cualquier componente

Palabras clave: industria aeroespacial, materiales compuestos, aleaciones, propiedades de materiales, desgaste.

Introducción

El afán por la adquisición de conocimiento del hombre abarca innumerables temas, donde se cuestionan orígenes, medios, fines, entre otros, de cada área de estudio posible. Uno de estos temas, y el tratado en el presente trabajo, radica en las estructuras y piezas que desempeñan su vida útil en el espacio exterior, más exactamente, los materiales que son usados en los mismos; analizando las ventajas y desventajas de las propiedades que brinda cada material como elemento individual o como compuesto.

Tratándose del espacio exterior, siendo éste objeto de estudio de las ciencias espaciales o exploraciones espaciales como ciencias formales, es necesaria la observación e indagación del cosmos desde un ambiente real, práctico. Es decir, se requiere estar inmerso en el espacio exterior, para obtener una idea más clara de su estructura, su funcionamiento, evolución, desarrollo y demás.

Según la Nasa: La compatibilidad del hardware de la estación espacial con el entorno espacial es uno de los principales problemas de desarrollo de materiales. La larga vida proyectada de los elementos de la Estación Espacial (aproximadamente 30 años para componentes estructurales y 20 años para sistemas de energía) (L, J, & B, 1987)

Teniendo esto en mente, el desarrollo de naves espaciales, transbordadores, cohetes, estaciones espaciales, es crucial para posicionar al hombre cada vez más cerca de este ambiente. Y dicho desarrollo requiere un análisis exhaustivo de factores como esfuerzos mecánicos, resistencias, límites de funcionalidad, etc., que permita la construcción de todos aquellos artefactos necesarios para la supervivencia del hombre fuera de la tierra.

El estudio de los materiales en esta industria, no se limita únicamente a piezas externas de las estructuras, como recubrimientos y demás, sino que también es usada en mejoras a los motores, combustibles, bastidores, entre otros.

Donde por ejemplo existen nuevas tecnologías que mejoran la eficiencia del motor. Debido a la fricción que se experimenta en estas naves se inició a desarrollar hace un tiempo una tecnología llamada: recubrimientos de barreras térmicas. Ya que son dispositivos contruidos con nanomateriales, se reciben muy bien en esta industria aeroespacial. Estos recubrimientos proporcionan al substrato un aislamiento térmico y protección contra la corrosión y abrasión a temperaturas altas. (Reyes, B. B., Ramirez, J. M. H., & Bernal, R. V. 2013)

Así como se abarcan nuevas posibilidades en cuanto a tecnologías para motores, cada vez se busca reducir costos, reducir peso y aumentar

vida/tiempo de servicio efectivo de las piezas, para lo cual, actualmente (y desde hace varios años) se tienen en cuenta los materiales compuestos, que junto con su auge en diferentes sectores manufactureros, evoluciona en la industria aeroespacial, ya que con las diferentes aleaciones de aluminio, magnesio, titanio, níquel, entre otros, se obtienen nuevos materiales, capaces de suplir parte de las necesidades de resistencias mecánicas, principalmente al desgaste, y a los efectos térmicos, ocasionados en situaciones de despegue, aterrizaje, vuelo, salida de la atmósfera, cercanía al sol, entre otras.

Algunas de las propiedades mejoradas con las aleaciones de aluminio son la resistencia de hasta 520 MPa, mejorada sin embargo por una aleación a base de magnesio, con una resistencia de 610 MPa. Y, aun así, si observamos una aleación de titanio, podemos obtener una resistencia de 1240 MPa, entendiendo así la mejora en las propiedades generada por el cambio y/o refuerzo de materiales.

Por otro lado, en un polímero reforzado con fibra de carbono tenemos una resistencia de 550 MPa, menor que las anteriores, pero presenta una densidad de sólo un quinto de la del acero, y tres quintos de las aleaciones de Al. (Zhang, Chen, & Hu, 2018)

Con base en los factores descritos, se busca relacionar las propiedades y limitaciones de los materiales puros y compuestos con su funcionamiento dentro de la industria aeroespacial desde un enfoque meramente de consulta desde la asignatura de procesos de manufactura I, por estudiantes de la universidad Santo Tomás, seccional Tunja. Disciplina donde se estudian las propiedades, procesos de producción y tipo de materiales.

Estado del arte

Entendiendo la industria aeroespacial como aquella encargada del diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento de aeronaves (helicópteros, vehículos aéreos no tripulados, misiles, etc.), naves espaciales y cohetes, así como del equipo específico asociado (propulsión, sistemas de navegación, etc.). Relacionado también en el sector militar. Con base en lo cual se desarrolla la industria enfocada

en las aplicaciones a actividades aeronáuticas en naves espaciales.
(Trujillo, 2016)

La investigación alrededor de la industria aeroespacial es nueva, en cuanto los avances en la misma se registran desde el siglo pasado. Como es conocido, en 1969 se realiza el alunizaje por Neil Amstrong y Edwin Aldrin en la misión Apolo 11. (National Geographic, 2010). Del mismo modo como se lograron tantos avances que hicieron posible la llegada a la luna, aún continúan los esfuerzos por mejorar las estructuras y piezas de aeronaves que recorrerán el espacio exterior. Se registran estudios en busca de nuevos materiales, inclinándose hacia los materiales compuestos y las aleaciones de Al, Ti, Mg y Ni.

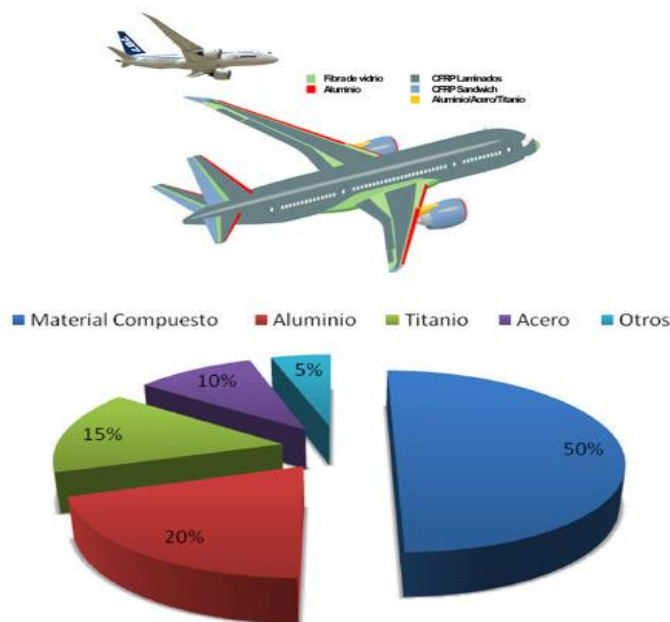


Figura 1. Materiales aeronáuticos avanzados. Fuente: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/>

Bond, D, et al. (2019) desarrolla un estudio con ayuda de una “Herramienta en línea para la evaluación de la radiación en el espacio”, OLTARIS, en el cual se busca satisfacer necesidades de blindaje y estructurales evaluando espesores para la protección y absorción de la radiación espacial. En dicho desarrollo se clasifican los materiales usados en: metales, polímeros, compuestos y combustibles, hidruros y gases líquidos.

Otras de las propiedades a analizar son los efectos térmicos al encontrarse en cercanía al sol, donde Elena Ancona y Roman Ya.Kezerashvili (2017) observan las propiedades ópticas como reflectividad, absorción, transmisividad y emisividad. Teniendo en cuenta los materiales más óptimos para un buen funcionamiento a sus temperaturas máximas soportadas.

Dos elementos que pueden ser estudiados por medio de un ensayo a tracción y un estudio de elementos finitos son el módulo de elasticidad y rigidez del material, lo que se busca con este tipo de software es establecer una relación más clara entre análisis computacionales y teóricos, ya que son las mismas condiciones de carga se esperan resultados muy cercanos, es útil cuando no se dispone de una máquina de ensayo, uno de los software más usados es el ANSYS® (Moreno & Rivera, 2018)

Metodología

Siguiendo el propósito de analizar diferentes materiales, basados en las propiedades que brinda cada uno, con sus ventajas y desventajas, se desarrolla la investigación según la información encontrada en artículos y páginas web. Donde tenemos materiales metálicos y no metálicos, aleaciones y materiales compuestos, y se enfoca a propiedades tales como resistencia térmica, sea a altas o bajas temperaturas, resistencia a la fricción, ya sea producida por la atmósfera, la salida de ésta, al momento de despegue o aterrizaje; resistencia al impacto, con lo mencionado anteriormente; resistencia a la corrosión, a la abrasión, resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga, protección a la radiación espacial, propiedades ópticas, bajas densidades, entre otras. Para las cuales se estudia qué material brinda un mejor resultado, y la posible combinación de estos, buscando una mejora de las propiedades.

- El Aluminio presenta como gran propiedad la ligereza en peso, posee también una buena relación resistencia-peso, resistencia a la corrosión, es buen reflector de luz, y su factor como elemento 100% reciclable lo hace llamativo en sectores de costos. Esto debido a que puede ser fundido con los métodos convencionales, por tener un

punto de fusión bajo. Posee además buena maleabilidad, alta conductividad térmica, maquinabilidad buena, no es magnética, no es tóxico y no produce chispas. La ausencia de chispa, es un factor positivo en cuanto a seguridad, ya que no se corren riesgos de producir una explosión.

Además, como elemento presente en una aleación brinda aún mejores propiedades que las mencionadas anteriormente. Mostrando en algunas de ellas una resistencia hasta de 100.000 psi.

Tabla 1. Propiedades de las matrices de algunos metales. Fuente: (Zhang, Chen, & Hu, 2018)

Matrices	Density g/cm ³	CTE 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Thermal conductivity W/mK	Yield strength MPa	UTS MPa	Young's modulus GPa	Elongation %
Al 2024	2.78	22.7	120	345	425	70	5
Al 6061/T6	2.71	23.2	160	193	227	69	10
AlBeMet	2.1	13.9	240	282	338	199	10
Ti6Al4V	2.43	8.8	7.2	827	896	110	10
MgAlZn	1.78	26	62	130	220	45	8
Mg	1.74	26.1	159	30	115	44	6
Mg + Ni5%	-	-	-	58	146	-	3

En la aleación a base de Al 2024 vemos un límite elástico moderado (de 324 MPa), buena tenacidad a la fractura (37 MPa) y alta tasa de alargamiento (21%) (Zhang, Chen, & Hu, 2018). Propiedades que pueden tener modificaciones según su matriz, como muestra la Tabla 1.

- El Berilio como otro material usado en esta industria posee alta resistencia a la corrosión, por lo cual se emplea en cubiertas, es maquinable, presenta alto punto de fusión, ligero de peso, y tiene alta resistencia a la fatiga. Es usado como aleación junto con el Cobre, con la cual se obtienen propiedades de alta resistencia a la fatiga y buena conductividad eléctrica; debido al alto punto de fusión, es útil para trabajos a altas temperaturas; no posee propiedades magnéticas y no produce chispa.
- Dentro de los aceros se aprovechan ventajas como la tenacidad, ductilidad (por la capacidad de ser deformadas en frío y en caliente), uniformidad, conformabilidad, resistencia a la tracción, a la fluencia, buena conductividad térmica, y para

algunos aceros, como los inoxidables, una buena resistencia a la corrosión (Vottari, M., s.f).

Son mayormente usados los aceros que no exceden un porcentaje de carbono de 1,76. Y se usan también aleaciones de hierro-carbono.

- El Titanio presenta alta dureza, resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas, a la fatiga, baja densidad, rigidez, y es ligero. Además, presenta buena absorción al impacto y resistencia al arrastre a 500 - 600 C. Transmite energía ultrasónica con poca atenuación. Presenta poca expansión térmica y buena resistencia a la erosión por cavitación. Sin embargo, tiene limitaciones en su uso, donde a altas temperaturas, puede corroerse, tiene poca conductividad, un bajo módulo elástico respecto a los aceros, y un costo elevado.

Las propiedades de las aleaciones de éste material dependen de la estructura base y la manipulación en tratamientos térmicos y mecánicos. Existen 4 aleaciones, siendo éstas, aleaciones alfa, alfa + beta, cerca de alfa, y beta.

Las aleaciones a base de Ti, a base de Al y a base de compuestos poliméricos muestran buena resistencia específica y resistencia a la corrosión en frío. (Zhang, Chen, & Hu, 2018)

- Dentro de los materiales no metálicos tenemos el Grafito, el cual muestra buena movilidad entre sus capas, buena conductividad eléctrica y térmica. Y presenta resistividad y reactividad química.
- En aleaciones de Mg-Zn-Y, obtenemos propiedades como rigidez, y excelente capacidad de amortiguación.
- Los compuestos de matriz polimérica han evidenciado una alta resistencia (de 3450–4830 MPa) y un módulo elástico de 224 a 241 GPa, y capacidad de alta temperatura (entre 290 y 345 C).
- Las superaleaciones a base de níquel presentan gran resistencia al calor, de entre 780 MPa a 950 C, resistencia a la fluencia y a la corrosión en caliente. (Zhang, Chen, & Hu, 2018)
- Con esta breve descripción de las propiedades de los materiales, se observa la mejora de las mismas en los

materiales compuestos, sin embargo, por lo general, estos suelen presentar mayores costos, factores que deben ser sopesados respecto a la vida útil de la pieza.

Desarrollo de contenidos

Muchos materiales compuestos son la primera opción de muchos ingenieros aeroespaciales debido a que su comportamiento se presta para un mejor moldeo de pieza, reducción de peso respecto a varios metales, corrosión, y principalmente resistencia a la fatiga y un fácil mantenimiento. La industria aeroespacial procura no escatimar en gastos por el impacto tecnológico y social que estas misiones proyectan, por lo que los mejores materiales se ven reflejados en esa rama de la ciencia, ciertos de esos materiales son los siguientes:

- Fibra de boro: se registran usos en fuselajes de aviones de los años 70, debido a su gran diámetro, consecuente en una buena rigidez y composición en su matriz. Además de su uso en naves espaciales.
- Berilio: usado en partes móviles críticas de aviones donde se presenta un comportamiento de fricción que genera chispa, ya que la ausencia de ésta, evita posibles explosiones.
- Titanio: sus aleaciones brindan ahorro de peso en estructuras aeroespaciales. (Vottari, M., s.f)
- Grafito: otorga una buena lubricación, por lo tanto se usa en: grasas, cintas magnéticas, sellos. Usado también en baterías conductivas, lacas conductivas, plásticos antiestáticos, intercambiadores de calor, revestimiento de frenos, etc. Usado para moldes refractarios, electrodos, en incrustación de metales.
- Aleaciones a base de Mg: reducción de peso en los aviones y aumento de carga útil.
- Aleación Al 2024: usado en fuselajes.
- Compuestos de matriz polimérica: usado en fuselajes.
- Superaleaciones a base de Ni: secciones calientes del motor de una aeronave (Zhang, Chen, & Hu, 2018).
- Aleaciones de Ti-Al: es un compuesto verdaderamente moderno, ya que fue descubierto en 2005 por el ingeniero mecánico Kenneth Vecchio. tiene una construcción

formidable. La aleación de aluminio-titanio ofrece un peso ligero, de acero como opción en la construcción aviación/aeroespacial.

Aunque el uso del aluminio en esta industria es grande y variado, ha ido perdiendo fuerza como elemento “puro”, ya que es débil en cuanto a algunas resistencias. Por lo cual, su evolución se ha evidenciado es dentro de aleaciones y compuestos.

Otra de las posibilidades evaluadas actualmente, es la de los cerámicos, debido a su gran resistencia a elevadas temperaturas, dándole así, una importante función en las zonas sometidas a calentamientos térmicos drásticos, constantes y crecientes. Y con base en estos requerimientos en cuanto a propiedades, se hace uso de los UHTC, o Ultra High Temperature Ceramics.

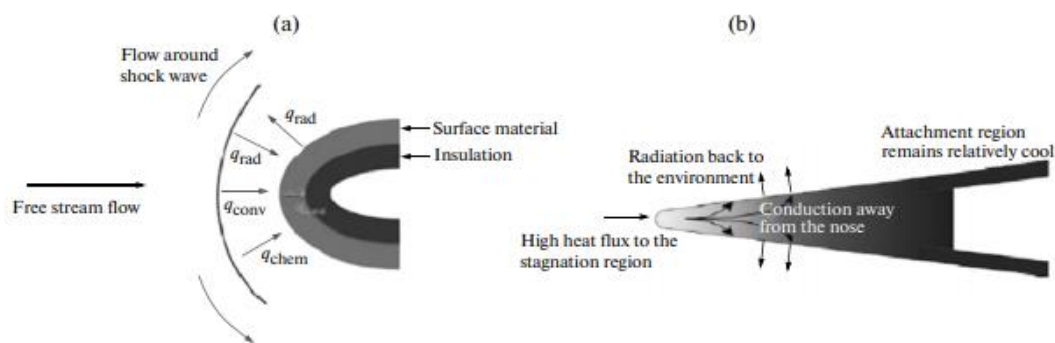


Figura 2. Punta roma y punta afilada. Fuente: Simonenko et al., 2013.

Por ejemplo, en la construcción de alas de aviones, puntas de cohetes, narices de aeronaves, debe ser evaluada la resistencia de los bordes de las piezas, ya que serán sometidas a velocidades mayores que las del sonido, alturas extremas y en general concentraciones de calor muy elevadas. Para lo cual Simonenko et al. (2013) propone el estudio de dos tipos de bordes, los romos y los afilados, para los cuales se analiza no solo la resistencia al calor directa, sino también su nivel de redistribución del calor, la conductividad, su capacidad para volver a irradiar el calor, etc. tal como se muestra en la figura 2.

En la sección de materiales compuestos, pueden verse también mezclas de polímeros con fibras de madera natural (González, 2017),

con el propósito de aumentar la resistencia a la tracción brindada por el polietileno de baja densidad. Esto variando el porcentaje agregado de las fibras de madera natural. Estudio en el que se obtienen los siguientes datos de resistencias a tracción:

Tabla 2. Mezclas de LDPE con madera natural. Fuente: González, 2017.

Mezcla	Designación	% LD PE	% Aserrín de madera
1	Polímero	100	0
2	E9010	90	10
3	E8020	80	20
4	E7030	70	30

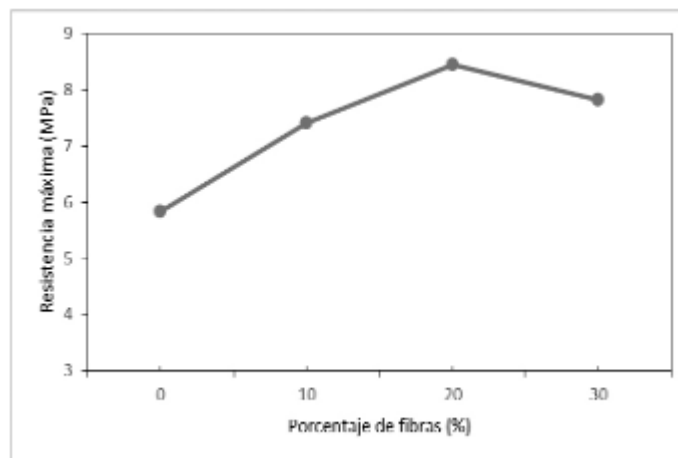


Figure 3. Gráfica Resistencia máxima - Porcentaje de fibras. Fuente: (González, 2017)

Muchos de los materiales compuestos se pueden representar mediante celdas unitarias, ya sean centradas en la cara o en el cuerpo. Se puede presentar una ordenación cubica simple, como la figura 3. Es la colocación menos compleja de todas, pero esto también recae en consecuencias como que el material no podrá tener un comportamiento isotrópico. También puede recaer que los comportamientos elásticos no cumplan con los límites de Hashin-Shtrikman (Escudero, 2004)

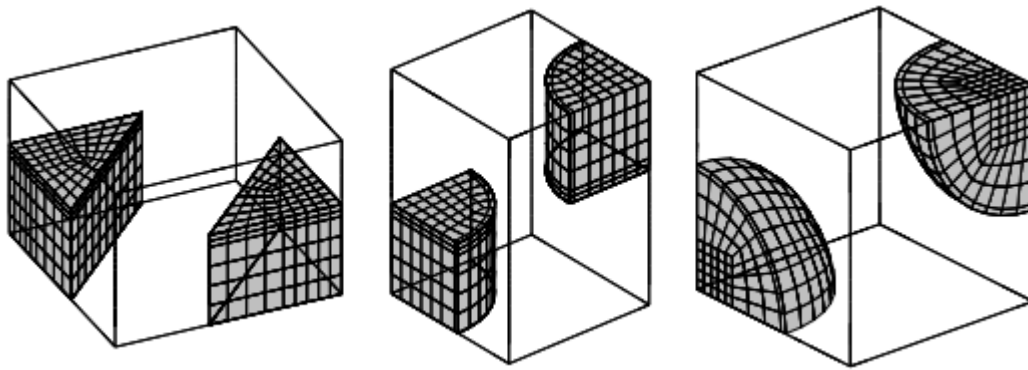


Figure 4. Disposición de celda cúbica para materiales compuestos.

Fuente: (Escudero, 2004)

Unos de los materiales que mejor combate la corrosión y mejor resistencia mecánica posee es el Al6061-T6. Presentando una resistencia ultima a la tensión de 310Mpa. Obviamente el uso más frecuente es en fuselajes o chapas de alas de avión y equipos aeroespaciales, este material es una aleación de aluminio con aleantes de magnesio y silicio, es de recalcar igualmente su facilidad para el proceso de soldar. En la figura 4 y 5 se presenta un ejemplo y una tabla de sus comportamientos mecánicos.

Aleación	Tensión				Dureza	Corte	Modulo
	Resistencia (MPa)		Elongación en 50.8 mm		Brinell	Ultimo de corte	Módulo de Elasticidad MPaX10 ³
	Ultimo	Cedencia	1.58 mm de espesor	12.7 mm de Diámetro	500kg Bola de 10mm	Resistencia MPa	
6061-T6	310	276	12	17	95	206.84	68.95

Figure 5 Comportamientos de la aleación de aluminio 6061-T6 sometido a esfuerzos mecánicos. Fuente: (ISAZA, 2015)



Figure 6. Ala de un avión fabricada de Al6061-T6. Fuente: (ISAZA,2015)

Conclusiones

Se observa que a medida que avanza el tiempo el ajuste dimensional de los materiales es cada vez más pequeño, siendo ahora los elementos contruidos con partículas nanométricas que otorgan mayor resistencia mecánica que los anteriormente usados.

Se refleja igualmente el uso de fibras sobre metales, ya que una matriz polimérica más un refuerzo metálico otorga propiedades de las mismas como lo es la flexibilidad y la dureza.

El mayor problema que existe en el espacio o al momento de que se transporta la nave es la fricción que se genera y las altas temperaturas que se experimentan siendo así el factor base para la selección del material que se pudo observar que en el mayor de los casos son las fibras de titanio y el berilio.

Uno de los principales enfoques del avance e investigación acerca de la industria aeroespacial, es la extensión de la vida útil de las piezas y estructuras empleadas en las naves y dispositivos aeroespaciales, con el propósito de reducir costos, extender viajes, sacar más provecho de ellos, entre otros.

La evolución de los materiales radica tanto en la mejora de las propiedades mecánicas, ópticas, como en la creación de unos nuevos materiales, siendo éstas las aleaciones y los materiales compuestos.

Referencias

- [1]. Ancona E., Ya.Kezerashvili R. (2017) Temperature restrictions for materials used in aerospace industry for the near-Sun orbits. *Acta Astronáutica*. Volume 140, P 565-569
- [2]. Bond, D., Goddard B., Singleterry R. Jr., Bilbao y León S. (2019) Whole Body Effective Dose Equivalent Dataset for MAX and FAX Shielded with Common Aerospace Materials in Deep Space.
- [3]. Escudero, J. S. (2004). *Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados con partículas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- [4]. González, Y. (2015) Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico hecho de polietileno de baja densidad reciclado y reforzado con fibras de madera natural. *Ingenio magno*, Volumen 6 (2), 76-85.
- [5]. ISAZA, C. J. (2015). Estudio de corrosión asistida por esfuerzo en aleaciones y superaleaciones para aplicaciones aeronáuticas. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma De Nuevo León.
- [6]. L, L., J, V., & B, S.-M. (1987). Problemas de materiales seleccionados asociados con la Estación Espacial. *SAMPE Quarterly*, 48-54.
- [7]. Moreno, S. H., & Rivera, E. C. (2018). Análisis teórico-práctico de esfuerzos y por elementos finitos de un ensayo de tracción. *Ingenio Magno* , 42-55.
- [8]. National Geographic (2010) El primer vuelo espacial tripulado. Online. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-primer-vuelo-espacial-tripulado>
- [9]. Simonenko, E. P., Sevast'yanov, D. V., Simonenko, N. P., Sevast'yanov, V. G., & Kuznetsov, N. T. (diciembre de 2013). Promising Ultra-High-Temperature Ceramic Materials for Aerospace Applications. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 58(12), 1669-1693.

[10]. Trujillo, J. E. (20 de febrero de 2016). *Ingeniería*. Obtenido de <https://ingeniero.win/industria-aeronautica/>

[11]. Vottari, M. (s.f) Propiedades del acero. Online. Recuperado de: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelAcero&LN=ES>

[12]. Vottari, M. (s.f) Propiedades del titanio. Online. Recuperado de: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelTitanio&LN=ES>

[13]. Zhang, X., Chen, Y., & Hu, J. (2018). Avances recientes en el desarrollo de materiales aeroespaciales. *ELSEVIER*, 22-34.



Publicidad Escrita Una alternativa Didáctica de Promoción en la Robótica Educativa

**Edy S. Galindo G, Cristian L. González D, Juan E. Morales C,
Ana María. Parra L,**

*Facultad de Ingeniería Electrónica y Ambiental, Universidad Santo Tomás
Tunja, Boyacá, Colombia*

Abstract

This project shows the applicability of physical advertising in an educational robotics macro-project aimed at students from 100 rural and urban schools in the city of Tunja and some neighboring sectors. The objective is to generate physical advertising tools that allow a broad knowledge of the robot previously designed and planned for the disposition and manipulation of the students of the schools involved, in order to achieve this objective, students and interested personnel will also be provided with a physical manual, stickers and brochures containing important features of the robot. Within the article you will find some theoretical foundations and background on spin-off and physical advertising, as well as some data and calculations of financial indicators that define the viability of the project to develop. It was possible to conclude that the guide is a good didactic-educational tool and that financial indicators are a good alternative of reliability for the pre-implementation of a project.

Index Terms— Económica, Educación, Publicidad, Robótica, Spin-off.

Introducción

Iniciando con un esclarecimiento conceptual en cuanto a la publicidad, esta se puede definir como un proceso de comunicación que puede desarrollarse entre diversos actores en los que se busca dar a conocer información relevante sobre un producto o servicio en el ejercicio de una actividad comercial, industrial, artesanal o profesional. Así mismo, hablando directamente de la publicidad física, es un tipo de publicidad

que incluye todos los medios publicitarios que se presentan de manera tangible, algunos ejemplos pueden ser: Afiches, folletos, pancartas, guías, artículos, objetos contramarcados, entre otros.[1]

Es de gran relevancia conocer el objetivo del proyecto así como el de la publicidad, de esta manera es posible definir el tipo de publicidad más efectiva para tal fin, por ejemplo, cuando el objetivo es llamar la atención del usuario, es más recomendable utilizar los medios digitales, puesto que estos tienen una mejor respuesta ante esta necesidad gracias a su fácil difusión, por otra parte, si el objetivo es informar, como en este caso, la eficiencia de respuesta de los medios físicos supera la de los medios digitales, generando en los clientes o usuarios mayor valor y deseo por el producto. A pesar de sus grandes diferencias, cada tipo de publicidad tiene sus pros y sus contras los cuales varían en relación a la necesidad de la publicidad y el objetivo de la misma.[1]

A partir de los conocimientos que se adquieren en la universidad, algunos investigadores plantean proyectos empresariales para ofrecer al mercado productos y servicios con base tecnológica y con características de innovación, esto es denominado Spin off. Gracias a la ley Spin off, en todas las IES (públicas o privadas) se pueden crear empresas con base tecnológica por los miembros del cuerpo universitario. Este tiene diversas ventajas para todos los implicados, en las que se resaltan: Promover el emprendimiento innovador y de alto valor en las instituciones de educación superior, dinamizar e incentivar que las instituciones de educación superior en Colombia puedan crear empresas tipo Spin-Off, promover la generación de empleo de alto valor agregado para que nuestros jóvenes encuentren nuevas y mejores opciones laborales y hacer posible que las iniciativas de emprendimiento de las empresas de base tecnológica Spin-Off, se articulen con los planes regionales de competitividad y con las políticas del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel). [2]

Objetivos

General

Generar herramientas físicas publicitarias que permitan conocer ampliamente el robot previamente diseñado y previsto para la disposición y manipulación de los estudiantes de los colegios implicados.

Específicos

- Proporcionar a los estudiantes y personal interesado un manual físico que les permita conocer las características del robot, así como la forma de manipulación, las advertencias y cuidados del mismo.
- Suministrar a los estudiantes y personal interesado medios físicos de publicidad (Sticker y pequeños afiches) en los que se puedan dar a conocer los robots previamente diseñados.
- Dar a conocer información relevante sobre los robots y sistemas dirigidos a los estudiantes de una manera económica y financieramente viable

Marco teórico

A. Fundamentos de la publicidad

La publicidad está definida por cuatro fundamentos principales, los cuales son pensamiento estratégico, conocimiento del consumidor y del producto, capacidad de generar buenas ideas, y la capacidad para transmitir las ideas con claridad.[3]

En este proceso la innovación es algo vital, para desarrollar nuevas plataformas para la transmisión del contenido, pero lo fundamental de la publicidad siempre será la creatividad que es lo que la hace llamativa a sus receptores.[3]

B. Clases de publicidad

Publicidad impresa: con la publicidad de tipo impresa se tiene una gran fidelidad, esto debido a que la población que todavía confía en el

medio impreso es representativa en ámbito nacional e internacional, se tiene la desventaja que la tasa de alcance está disminuyendo. Se observa que las revistas ofrecen variedad den su serie de publicaciones segmentando los diferentes gustos y mercados, el deporte, la salud, el cine, etc., así logra motivar a los lectores a seguir sus hábitos y lecturas. [4]

Publicidad online: Se relaciona con toda la publicidad realizada sobre la red de internet, incluye todos los medios digitales que se presentan en la actualidad, especialmente relacionados con las redes sociales, la emisión de anuncios determinados por los pop apps. Se constituye en un medio de bajo costo y amplia audiencia, por lo que en todos los sectores involucrados con el hacerse conocer o hacer conocer algo, siempre existirá la necesidad de utilizar este medio. El auge de los dispositivos móviles causa que se muestre un fuerte crecimiento.[4]

Anuncios de radio: Para conocer la una medida del efecto de la publicidad en radio, es relevante determinar la distribución de la población por su edad, así las personas con mayor edad tienden a usar los medios radiales, la población joven no acude a informarse por estos medios. La población boyacense todavía tiene un gran sector rural con la costumbre de usar el radio como medio de información, por lo tanto, es necesario saber hacia qué sector del país o el mundo se dirige este tipo de estrategia publicitaria, de tal forma que los anuncios presentados puedan llegar a las poblaciones que hacen uso de esta información.[4]

Anuncios de televisión: Aunque la televisión como la radio tienden a decrecer en su audiencia, aún sigue siendo un medio que es utilizado, especialmente porque por allí se conocen aspectos cotidianos de una región o país, por lo tanto, el uso de esa estrategia publicitaria sigue impactando en los consumidores, los anunciantes acuden a este medio como estrategia para darse a conocer. La robótica ha sido difundida con bastante énfasis por este medio, será por lo tanto una de las alternativas para quienes trabajan proyectos de robótica, darse a conocer por medios masivos de amplia audiencia, tales como, noticieros, documentales, programas de innovación entre otros. [4]

Publicidad exterior: Una publicidad que nunca pasa de moda es la publicidad exterior, es decir, aquella que aparece en lugares públicos. Los elementos publicitarios más habituales en publicidad exterior son carteles, vallas publicitarias, rótulos luminosos, banderolas, marquesinas, entre otros. [4]

C. Tipos de publicidad física o impresa

Para promover productos y servicios las empresas tienen que recurrir a los diferentes tipos de publicidad impresa que les permitan llegar a sus potenciales consumidores.[5]

Publicidad en los periódicos. Los periódicos tienen grandes audiencias, lo que significa que son un tipo de publicidad impresa de gran eficacia para las empresas que desean promocionar o vender sus productos.[5]

Publicidad impresa en revistas. Una de las principales ventajas de la publicidad en las revistas con respecto a la publicidad impresa en los periódicos es que la calidad de producción es más alta y en consecuencia resulta ser una forma más convincente de diseñar una marca.[5]

Directorios. La publicidad impresa en directorios como el caso de las páginas amarillas, es considerablemente más económica en comparación con el periódico o las revistas. De hecho, los clientes pueden ser más sensibles ya que en realidad están buscando un servicio. Este tipo de publicidad impresa puede ser ideal para cuando se requiere promocionar servicios de fontanería, electricidad, carpintería u otros oficios calificados.[5]

Otros tipos de publicidad impresa. Las empresas también pueden recurrir a otros tipos de publicidad impresa como el caso de los folletos, tarjetas de presentación, catálogos, flyers, carpetas, libros, pancartas o incluso sobres. [5]

D. ¿Qué es un Spin-off?

Las spin-off son iniciativas empresariales promovidas por miembros de la comunidad universitaria, que se caracterizan por basar su actividad en la explotación de nuevos procesos, productos o servicios a partir del conocimiento adquirido y los resultados obtenidos en la propia Universidad. Un Proyecto similar al Spin off se busca en la Universidad Santo Tomás de Tunja, relacionado con una plataforma de Rehabilitación, [6].

La investigación aplicada es la base de estas empresas, cuya importancia radica en el desarrollo de nuevas tecnologías, la creación de empleo de calidad, la capacidad de generar un alto valor añadido en la actividad económica y la aportación al desarrollo regional.[2]

Procedimiento y desarrollo

Se desea realizar una guía que contenga información relevante sobre el robot previamente diseñado, fabricado y dirigido a los estudiantes de los 100 colegios rurales y urbanos implicados en el macroproyecto robótica educativa; La guía debe contener: Una tabla de contenido, información general sobre el robot, componentes del robot con sus respectivas descripciones, imágenes en distintas vistas del robot, modo de uso y algunas recomendaciones generales. (Máximo 10 páginas). Adicionalmente, se realizarán Sticker con imágenes del robot para que los estudiantes tengan una manera didáctica y educativa de interactuar con este, así mismo, se imprimirán folletos de una hoja que contengan las características principales del robot.

Para el desarrollo de la guía, los Sticker y folletos, se realizó un balance en cuanto a elementos- materiales, personal requerido, locaciones, servicios y financiación. Es importante aclarar que el presupuesto se realizó para 30 guías (cada una de 10 páginas), 30 Sticker (6 hojas) y 50 folletos, no obstante, está presto a cambios de cantidades (Es a escala). A continuación, se describe lo anteriormente mencionado detalladamente.

Elementos y Materiales

Tabla de Costos, Fuente Autores.

Material	Costo Unitario	Costo Total
Servicio de diseño de guía	\$ 120000	\$ 120000
Servicio de impresión de guías en propalcote	\$ 15000	\$ 430000
Servicio de impresión de Sticker	\$ 500 (1 hoja)	\$ 3000
Servicio de impresión de folletos	\$ 300 (1 hoja)	\$ 15000
TOTAL:	\$ 568000	

NOTAS: Las cotizaciones realizadas para el diseño de la guía se realizaron con la empresa MAOMARKETINGEVENTOS de la ciudad de Manizales. Las cotizaciones realizadas para las impresiones de las guías a color, doble cara y en propalcote, fueron realizadas con la empresa servicopias ubicada en la ciudad de Tunja.

Personal requerido

Las guías serán realizadas por una agencia de publicidad externa a la universidad con base en la información suministrada por los fabricantes del robot (Estudiantes y docentes de ingeniería electrónica de la universidad Santo Tomás). Así mismo, las guías serán impresas en una empresa que preste el servicio de impresión en propalcote y haga reducción de costos si se realizan impresiones en gran cantidad. Por otra parte, los stickers y las guías serán diseñadas por los estudiantes e impresas en una papelería convencional, concluyendo que no se generan costos directos por personal a excepción del servicio de diseño de la guía.

Locaciones

Los estudiantes deben disponer de un salón o aula que brinde comodidad para la socialización de la información que se incluirá en la cartilla para su posterior diseño, adicional a esto, no se requieren otros lugares por lo que el costo por locaciones no se tiene en cuenta directamente. Para el caso del diseño e impresiones a realizar, este valor va incluido en el servicio que se pagará.

Servicios

El único servicio básico que se requiere es el de la energía eléctrica, necesaria para el diseño e impresión de las guías, no obstante, al igual que las locaciones, este costo está incluido en el servicio que se paga por diseño e impresión, no se tiene en cuenta un costo por energía directamente.

Financiación

Según el dinero requerido para la ejecución de las guías, folletos y Sticker, se realizaron los siguientes cálculos: INVERSIÓN \$568.000, Tasa de interés: 2%.

Tabla 3: Amortización del crédito. Fuente Autores.

Periodo	Saldo inicial	Interés	Capital	Alícuota	Saldo Fijo
1	568,000	11,360	137,810	149,170	430,190
2	430,190	8,604	140,566	149,170	289,623
3	289,623	5,792	143,378	149,170	146,245
4	146,245	2,925	146,245	149,170	-

Tabla 4: Payback, Fuente Autores.

AÑO	0	1	2	3	4
Flujo de efectivo	\$ -568000	\$ 100000	\$ 100000	\$ 200000	\$ 300000
Flujo de efectivo acumulado	\$ -568000	\$ -468000	\$ -368000	\$ -168000	\$ 132000

Cada periodo corresponde a 2 semanas, por lo tanto, el payback del proyecto es de: 7 semanas y 20,16 horas.

Suma Ingresos = \$ 700.000 que traídos al presente representan
 VA \$ 646,691.80

Tabla 2: Inversión y tasa de interés. Fuente Autores.

Por semana para el último periodo	Por días	Por horas al día	# horas
150000	21428.5714	892.857143	20.16

Tabla 2: Inversión y tasa de interés. Tabla de Costos, Fuente Autores.

B/C	\$ 1.14
VAN	\$ 91,774.19
TIR	7%

Conclusiones

- Según los valores obtenidos de algunos indicadores financieros como lo son el VAN, la TIR y la relación beneficio- costo B/C, el proyecto es financieramente viable, lo que permite ejecutar confiada y ordenadamente en relación a los recursos económicos.
- El Spin Off es una iniciativa que permite la ejecución de proyectos de emprendimiento empresarial con estudiantes universitarios, fomentando la innovación y el empoderamiento estudiantil.
- El manual o guía estudiantil es una buena estrategia informativa e interactiva para que los estudiantes aprendan y/o comprendan algunos sistemas robóticos, tecnológicos y electrónicos.
- La publicidad física permite dar a conocer información relevante sobre diversos temas, este tipo de publicidad aplicada en este proyecto, es una buena alternativa gracias a la interacción y sentido de apropiación del producto que genera en los clientes y/o estudiantes.
- Los indicadores y parámetros financieros desarrollados son una buena alternativa para definir la viabilidad de un proyecto, teniendo en cuenta que arrojan datos exactos y propios para cada proyecto

Referencias

- [1]. Gómez Nieto, Begoña. (enero 2017) Fundamentos de la Publicidad. Editorial ESIC.

- [2]. "Spin off: qué son y para qué sirven." [Online]. Available: <https://spinoff.ugr.es/cms/menu/info-otri/spin-off-que-son-y-para-que-sirven/>. [Accessed: 27-Nov-2019].
- [3]. R. Chavarria, "Los 4 Fundamentos de la Publicidad." [Online]. Available: <https://robertochavarria.co/los-4-fundamentos-de-la-publicidad/>. [Accessed: 27-Nov-2019].
- [4]. KlikPrinting, "Qué tipos de publicidad existen en la actualidad." [Online]. Available: <https://www.clickprinting.es/blog/que-tipos-de-publicidad-existen-medios>. [Accessed: 27-Nov-2019].
- [5]. Innicia imagen y comunicación Digital, "Diferentes tipos de publicidad impresa." [Online]. Available: <http://www.innicio.net/innicio-rotulacion-impresion-y-comunicacion-digital/entry/diferentes-tipos-de-publicidad-impresa>. [Accessed: 27-Nov-2019].
- [6]. Ávila Barón, Adolfo, "Sistemas electrónicos de una plataforma de rehabilitación locomotora con simulación en ANFIS". Revista Ingenio Magno ISSN: 2145-9282 Ed: Departamento Publicaciones Universidad Santo Tomas.



Análisis numérico de un proceso de conformado

Acosta Daniel, González Cristian, Maldonado Daniel, Quintero Yina

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomas,
Tunja, Colombia*

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar el esfuerzo al que fue sometida una lámina durante el proceso de doblado a través de simulación por elementos finitos (FEM). Para esto se plantea como condición inicial la geometría simplificada del proceso de doblado en la cual intervienen distintas piezas sobre las cuales al variar el espesor de la lámina de interés se puede realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos. Finalmente se comprobó que el comportamiento de cada una de las simulaciones depende directamente del espesor de la lámina, además, como consecuencia del incremento gradual de esfuerzo, la lámina siempre alcanzará la forma deseada, delimitada por el punzón y la matriz.

Introducción

[1]La simulación CAE (ingeniería asistida por ordenador) tiene como objetivo mejorar diseños de piezas y procesos de diferentes sectores de la manufactura. La simulación CAE consta de tres pasos: Preprocesamiento, Solución y postprocesamiento. En el preprocesamiento se generan las geometrías que van a ser utilizadas para la solución del problema, además se definen las propiedades físicas de los materiales a utilizar, también se generan las mallas para el análisis y finalmente se colocan las cargas a la cuales va a ser sometida la pieza. A continuación, el modelo generado se resuelve. Finalmente, en el post procesamiento, los resultados son mostrados al ingeniero para la revisión de estos.

Con el uso de la simulación CAE se puede tener las siguientes ventajas: [2] Se puede predecir el comportamiento estructural y cinemáticos del modelo, evitando que se pueda romper o deformar

permanentemente la pieza modelada. Si la pieza simulada no satisface las necesidades propuestas esta puede ser rediseñada para satisfacer.

El uso de la simulación CAE tiene diferentes campos de aplicación como, por ejemplo:[1] [3] [4] Se puede hacer un análisis de tensiones y de deformación en componentes y ensambles mediante el análisis de elementos finitos, también se puede hacer simulaciones de procesos como la fundición, el troquelado por prensa, el moldeo y el conformado. Este último [5] consiste en utilizar la deformación plástica para cambiar la forma de una pieza base. En los diferentes procesos de conformado (Cizallado, troquelado, doblado, embutido, forjado), una herramienta ejerce un esfuerzo sobre la pieza base a fin de modificar su geometría. El doblado es el proceso de conformado al cual este artículo se enfoca que consiste en [6] la deformación plástica que se obtiene a través del esfuerzo causado por la herramienta (punzón) en el material base (lámina), generando en ella un comportamiento de flexión y a su vez esfuerzos internos de compresión y tensión en la cara interna y externa respectivamente al momento del doblez.

A fin de realizar la evaluación de un proceso de doblez o conformado con diferentes condiciones de trabajo, como lo son la variación de espesores de la lámina a figurar se desarrolla una serie de simulaciones que permitan obtener una comparativa del esfuerzo al cual debe ser sometida la lámina a fin de obtener los mejores resultados de deformación de lámina y fidelidad de la geometría transmitida por el punzón en el proceso de conformado.

Desarrollo de contenidos

Para el desarrollo de este artículo de investigación se escogió un modelo base, como simplificación bidimensional de un mecanismo de conformado de una chapa metálica. La geometría cumple con sus dimensiones en función a la placa (90 mm x 1mm), junto a la cual se presentan: un punzón, una matriz y dos soportes denominados sujetadores, como se puede observar en la figura 1.

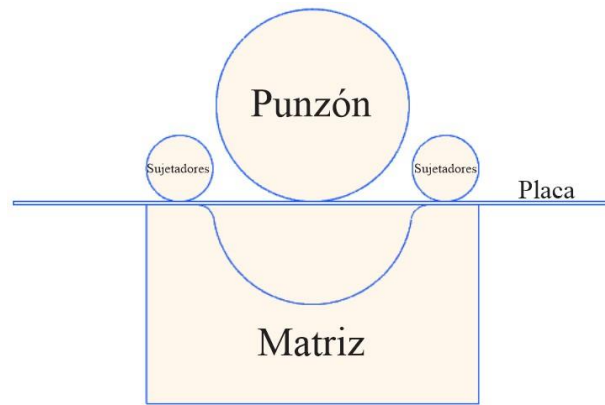


Figura 1. Geometría del modelo base. Fuente: Autores

A través de la geometría descrita se presenta la variable de proceso sobre la cual se realiza el análisis computacional y cualitativo la cual para este caso es la variación del espesor de la lámina.

Esta variable se ve representada a través de tres simulaciones por elementos finitos realizadas en el programa ANSYS 2019 R3 en su versión estudiantil. Para lo cual inicialmente se configuran dos materiales con las mismas propiedades del acero estructural y a uno de ellos se le asigna el nombre: chapa. A este material se le adiciona la propiedad *Bilinear isotropic hardening* que permite modificar las propiedades mecánicas *Yield Strength* (250 MPa) y *tangent modulus* (1600 MPa) los cuales aportan un comportamiento plástico al material permitiendo que este conserve de manera permanente la forma inducida a través del proceso de conformado. El cambio en la deformación del material en función de las propiedades mencionadas se presenta a través de la gráfica esfuerzo vs deformación.

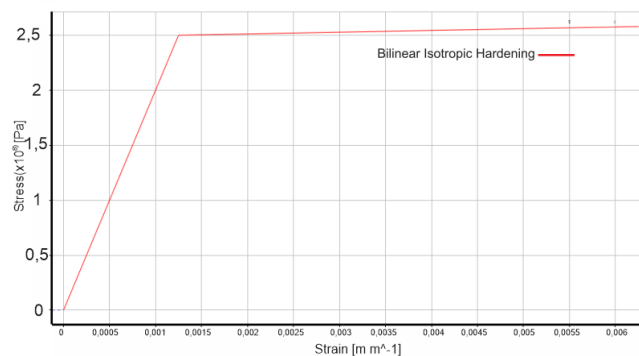


Figura 2. Gráfica Esfuerzo-deformación. Fuente: Autores

Las características de las tres variaciones en los espesores de lámina se presentan a continuación: En la primera simulación se presenta un punzón circular con lámina de 1mm de espesor, la cual denominaremos C1, la segunda cuenta con punzón circular y lámina de 0,5mm de espesor (C05), finalmente, se realizó la simulación con punzón circular y lámina de 1,5mm de espesor (C15). En cada una de las simulaciones se diseñó la matriz correspondiente a la relación entre la geometría del punzón y el espesor de la lámina como se muestra en las figuras 3,4 y 5.

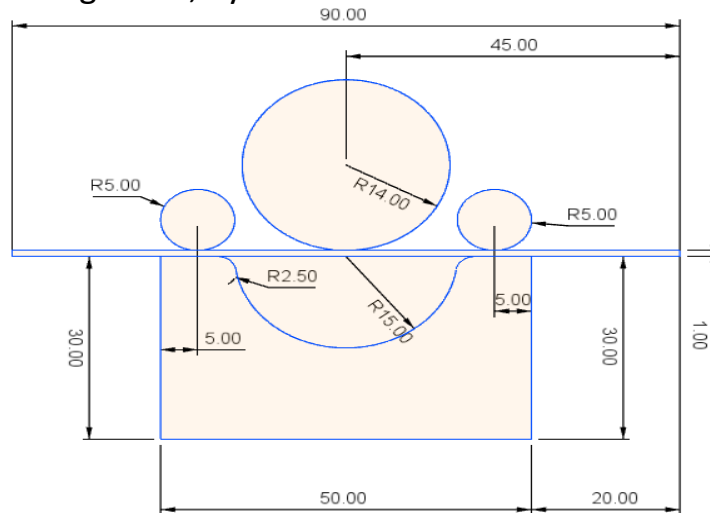


Figura 3. Geometría C1. Fuente: Autores

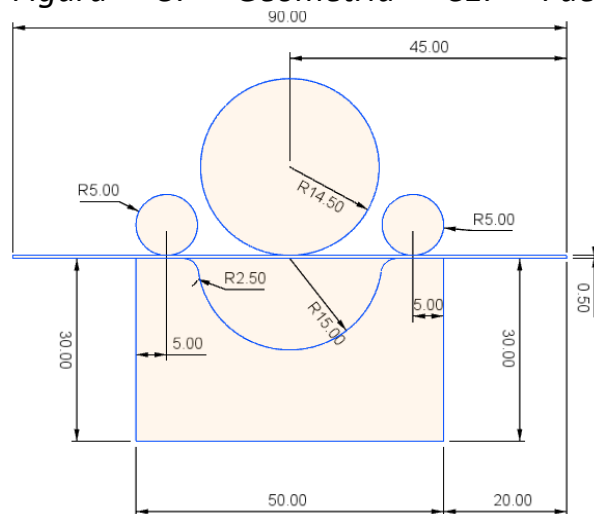


Figura 4. Geometría C05. Fuente: Autores

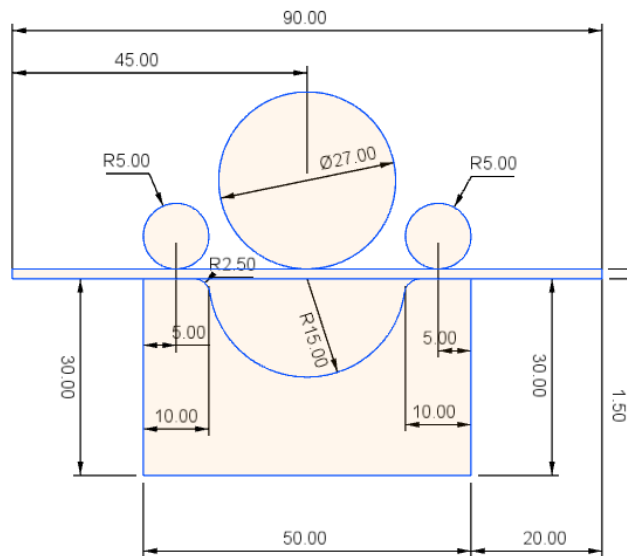


Figura 5. Geometría C15. Fuente: Autores

A partir de las geometrías definidas se realiza una relación de contacto entre las piezas, teniendo en cuenta que el contacto entre el punzón y la lámina es el único que se desea presente fricción, este coeficiente será de 0,2. Los demás contactos: lamina-matriz, y lamina-sujetadores presentaran un valor nulo de fricción debido a que solo cumplen la función de soporte y guía para el desplazamiento de la lámina mientras esta se deforma.

La generación de malla se hace inicialmente de manera automática con elementos tetraédricos de 1 mm en toda la geometría de las piezas. Posteriormente se realiza un refinamiento de 0.5 mm a la placa, por medio de la herramienta *inflation* que se encarga de realizar un refinamiento equivalente en las zonas de interés que en este caso serán todos contornos que entran en contacto con la lámina durante el proceso de conformado. Finalmente se usa la herramienta *remote displacement* con el fin de simular el movimiento que efectúa el punzón en el proceso, para esto se modifica la variación de distancia respecto al tiempo a través de *steps* (pasos), en este caso 20 en un segundo, este valor, determina el tiempo que tardará el punzón en realizar el recorrido desde la posición inicial, pasando por su punto mínimo inferior con la lámina totalmente deformada y de vuelta al punto de partida.

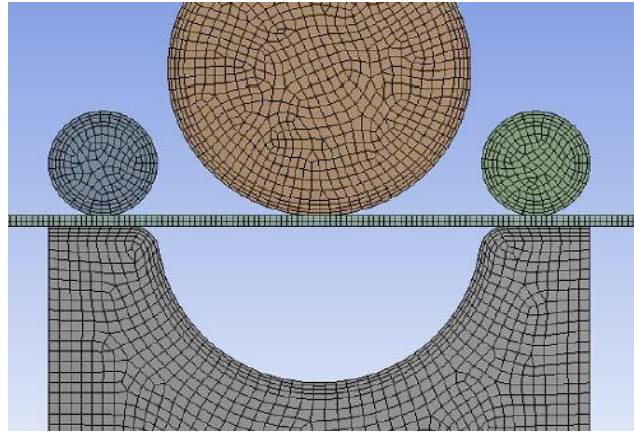


Figura 6. Malla geometría base. Fuente: Autores

Resultados

A partir de las diferentes simulaciones realizadas en ANSYS se obtienen una serie de resultados los cuales tienen grandes diferencias debido a los espesores de lámina que se implementarían en caso de tratarse de un proceso real de conformado. A continuación, se muestran los resultados de deformación y esfuerzo equivalente para cada una de los espesores de lámina propuestos:

A. Simulación geometría C1

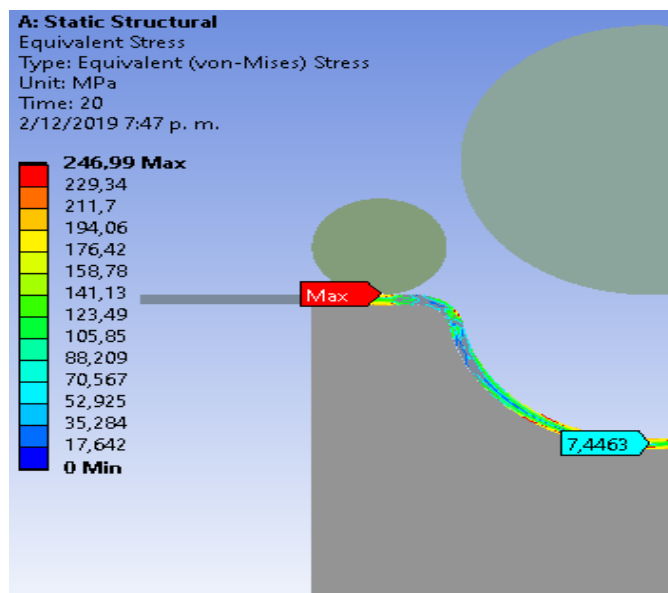


Figura 7. Esfuerzo equivalente para la geometría C1 Fuente: Autores

Se puede notar en la figura 6, que el esfuerzo máximo se encuentra situado debajo de los sujetadores presentes para el proceso de conformado.

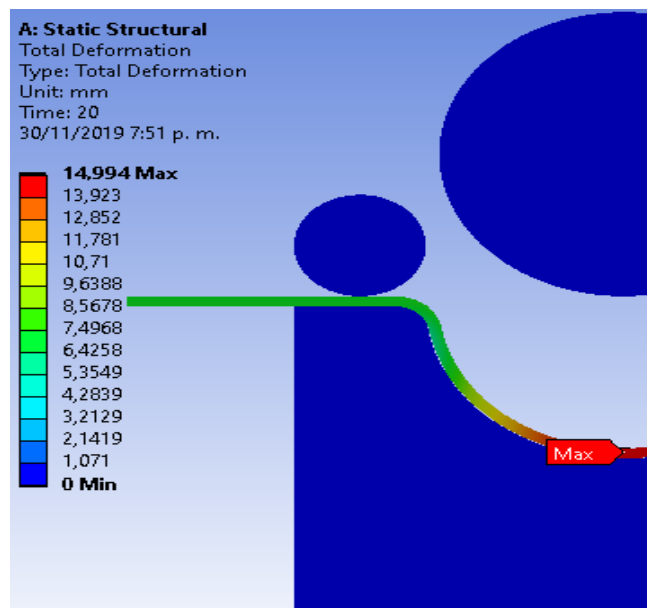


Figura 8. Deformación para la geometría C1 Fuente: Autores

B. Simulación geometría C05

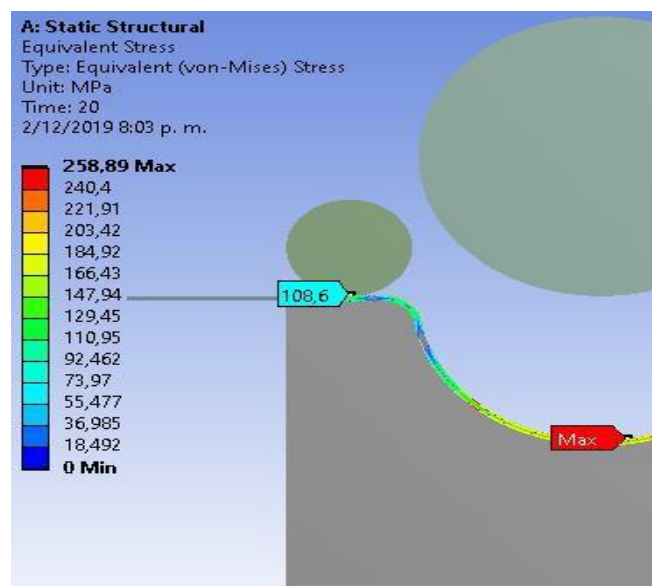


Figura 9. Esfuerzo equivalente para la geometría C05 Fuente: Autores

Se puede notar en la figura 8, que el esfuerzo máximo se encuentra situado en la parte en la que la lámina sufre la mayor deformación

después del proceso de conformado (Parte de la lámina situada en el fondo de la matriz)

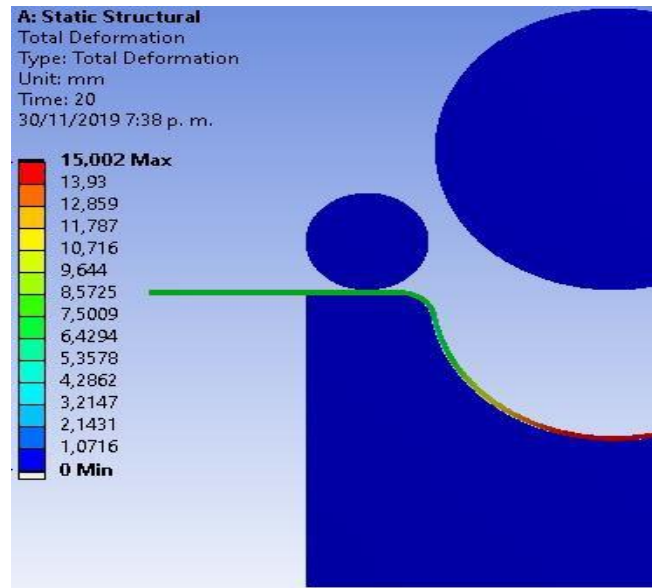


Figura 10. Deformación para la geometría C05 Fuente: Autores

C. Simulación geometría C15

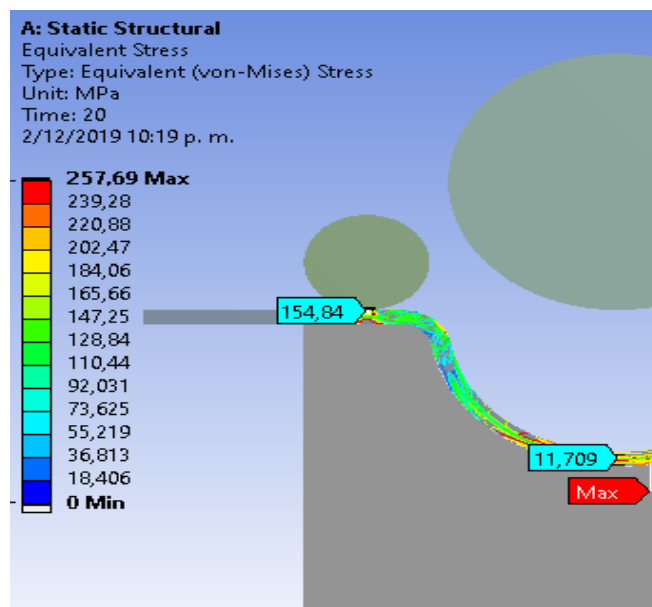


Figura 11. Esfuerzo equivalente para la geometría C15 Fuente: Autores

Se puede notar en la figura 10, que el esfuerzo máximo al igual que en la geometría C05 (figura 8) se encuentra situado en la parte en la que la lámina sufre la mayor deformación después del proceso de conformado (Parte de la lámina situada en el fondo de la matriz)

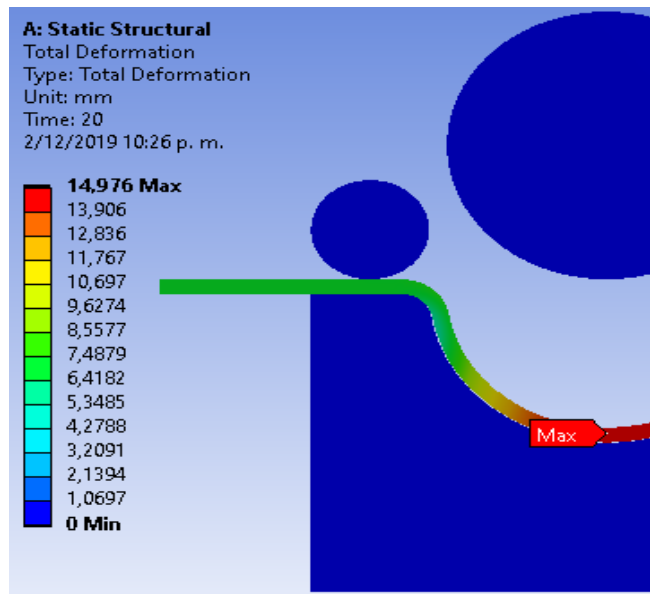


Figura 12. Deformación para la geometría C15 Fuente: Autores

Geometría	Esfuerzo Equivalente (MPa)	Deformación (mm)
C05	258.89	15.002
C1	246.98	14.994
C15	257.69	14.976

Tabla 1. Esfuerzo y deformación máxima para los diferentes espesores de lámina en el último paso de la simulación.

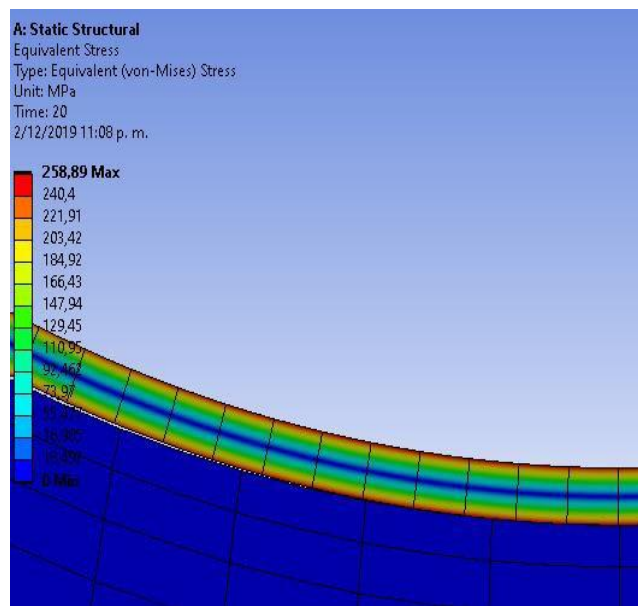


Figura 13. Vista de detalle de esfuerzos en la lámina

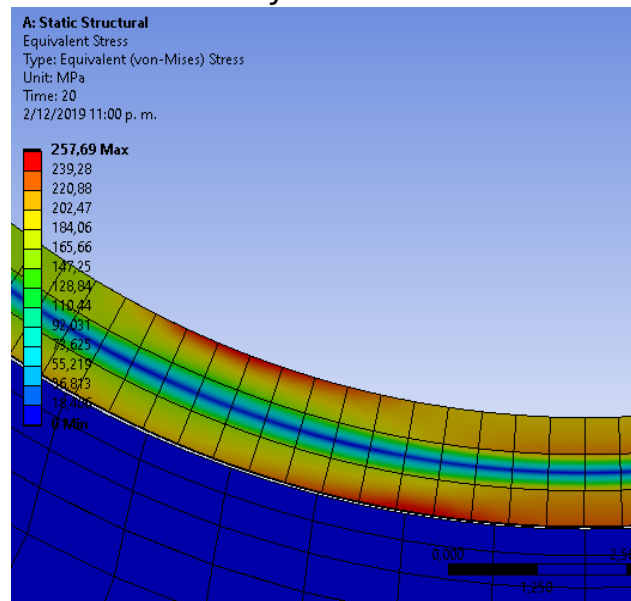


Figura 14. Vista de detalle de esfuerzos en de 0.5mm la lámina de 1mm

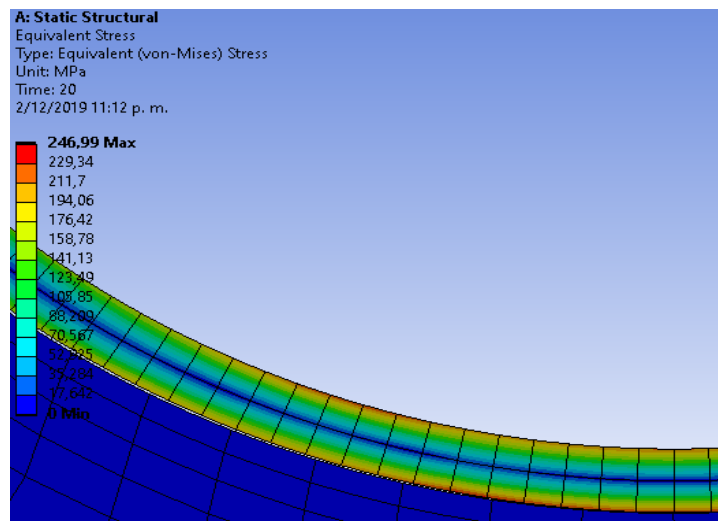


Figura 15. Vista de detalle de esfuerzos en la lámina de 1.5mm

Si detallamos la tabla anterior (tabla 1) junto con las figuras 6,8 y 10, encontramos que los valores de deformación máxima tienden a presentarse en el mismo sitio, mientras que los valores de esfuerzo equivalente no, por tanto, es necesario mirar detalladamente y analizar cada una de las simulaciones y lograr conocer los esfuerzos máximos presentes en estas, pero en los mismos puntos de interés. Para el caso vamos a tomar los valores de esfuerzo máximo en el punto de mayor importancia, el cual viene a ser la lámina en la parte baja de la matriz, tomando como guía la una ubicación del esfuerzo máximo presentado en la lámina de 1.5 mm (Figuras 15,16 x 17). Para ello se ponen probetas de esfuerzo máximo desplazándolas 5 nodos a la derecha, ya que como se mencionó, allí es el punto donde la lámina de 1.5 mm presenta el mayor esfuerzo equivalente.

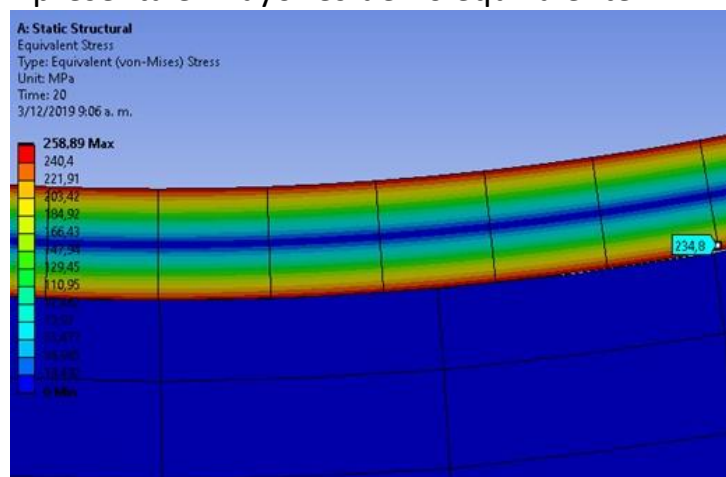


Figura 16. Probeta de esfuerzo en la lámina de 5 mm

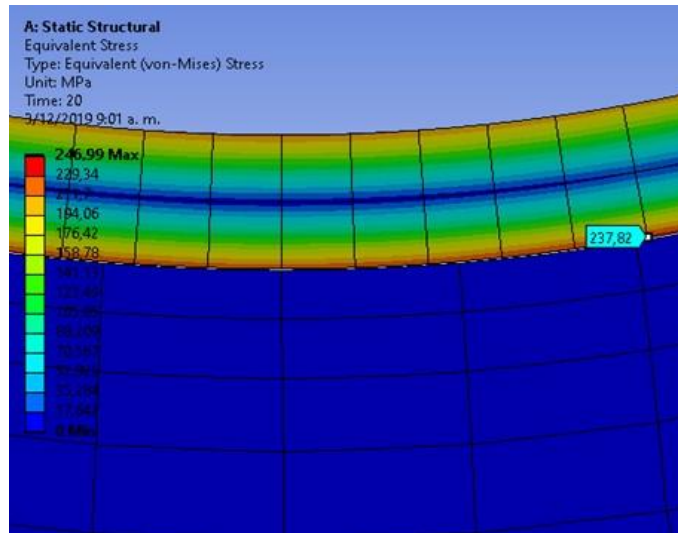


Figura 17. Probeta de esfuerzo en la lámina de 10 mm

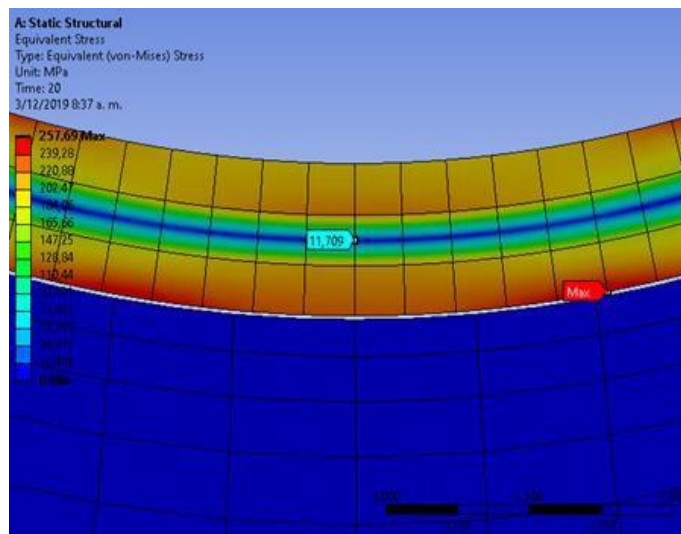


Figura 18. Probeta de esfuerzo en la lámina de 15 mm

Espesor de lámina	Esfuerzo máximo en la parte baja de la matriz (MPa)
0	234.8
1	237.82

Tabla 2. Esfuerzo máximo en el mismo punto dependiendo del espesor de lámina en el último paso de la simulación

Es de gran importancia aclarar que las tablas 1 y 2 contienen datos de esfuerzo y deformación máximos en el último paso de la

simulación, es decir en el segundo 20, por tanto, es de gran importancia visualizar e interpretar las gráficas del esfuerzo a través del tiempo para cada una de las simulaciones, con las cuales se podrán tener nuevas conclusiones. A continuación, se presentan el comportamiento de la deformación en el tiempo para cada uno de los espesores de lámina:

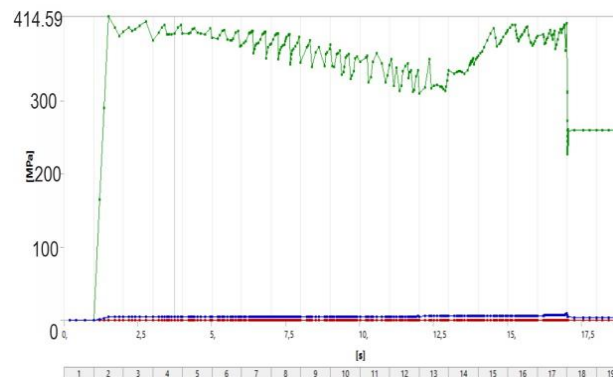


Figura 19. Esfuerzo en el tiempo para la lámina de 0.5mm

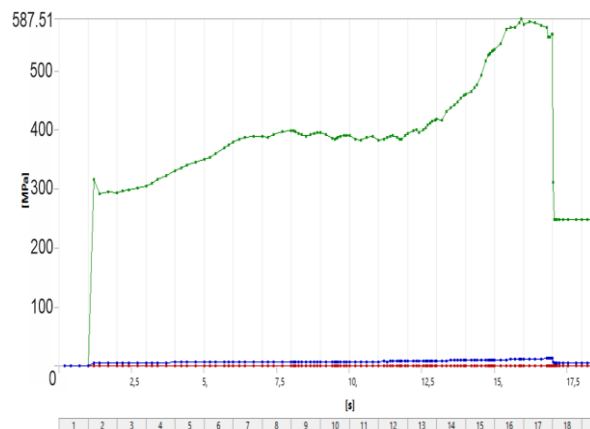


Figura 20. Esfuerzo en el tiempo para la lámina de 1mm

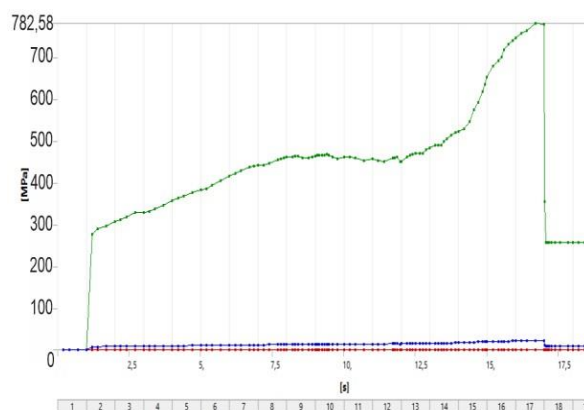


Figura 21. Esfuerzo en el tiempo para la lámina de 1.5mm

Conclusiones

Realizando la revisión de los resultados anteriormente presentados se puede concluir del proceso de conformado en forma que los esfuerzos máximos no se encuentran en el mismo sitio cuando se varía el espesor de la lámina a la cual se le va a aplicar el proceso de conformado.

El espesor de la lámina y la deformación máxima tienden a ser Inversamente proporcionales, es decir, al tener mayores espesores de lámina se van a tener menores deformaciones máximas teniendo en cuenta que la matriz mantiene sus dimensiones iguales para todos los procesos. Da cuenta de esto la Tabla 1.

Al conocer los valores de esfuerzo máximo equivalente para cada una de las simulaciones en un mismo punto (bien sea en la parte inferior de la matriz o en los sujetadores) se tiene una proporcionalidad directa con el espesor de lámina, es decir a mayor espesor de lámina, mayor esfuerzo máximo.

El esfuerzo no es uniforme en el área transversal de cada una de las láminas, como se puede notar en la figura 12, 13 y 14 el esfuerzo presenta perfiles de crecimiento del centro hacia afuera de la lámina, teniendo así en el centro esfuerzos bajos y en los extremos de lámina esfuerzos altos o máximos.

Se nota una gran diferencia en el comportamiento del esfuerzo en el tiempo, de cada uno de los espesores de lámina, teniendo las láminas de 1 y 1.5 mm comportamiento común el cual tiende a la ruptura, mientras que la lámina de 0.5 mm tiende a comportarse de manera elástica en la mayor parte del proceso, por lo tanto, se tiene esfuerzo constante para esta última, esto se debe a que no se configuran propiedades del material en las cuales se defina su punto de ruptura.

Referencias

[1]. Siemens, "Ingeniería asistida por ordenador (CAE)", *Siemens PLM Software*, 2019. [Online]. Available:

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>.

[2]. P. Limiñana and I. Seguí, "Simulaciones CAE, predecir el comportamiento de una pieza antes de su fabricación" *Interempresas*, 2009. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/32659-Simulaciones-CAE-predecir-el-comportamiento-de-una-pieza-antes-de-su-fabricacion.html>

[3].C. León, C. Aguirre and D. Castellano, "Static analysis of the elements of the suspension of an electric formula type single-seater car", *Ingenio Magno*; Vol. 9, Núm. 2 (2018); p. 131-147, 2018. [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1715/1560>.

[4].S. Hernández and E. Cárdenas, "Analysis theoretical-practice of efforts and by finite elements of a tension test", *Ingenio Magno*; Vol. 9, Núm. 1 (2018);p. 42-55, 2018. [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1715/1560>.

[5] B. Salazar López., "Procesos de Conformado", *Ingeniería Industrial*. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>.

[6] M. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, 3rd ed. Mexico: Mc Graw Hill, 2007, p. 448.



Análisis comparativo de las microestructuras de aceros tratados térmicamente

**Erika Sofía Salazar Aponte, Javier Alexander Pinzón Roballo,
Santiago Rodríguez Torres, Yenny Marlén González Mancilla**

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás
Tunja, Boyacá, Colombia*

Resumen

Se efectuaron tratamientos térmicos de temple en agua y en aceite, normalizado y recocido a 15 probetas de aceros AISI 1045, AISI 4140 y AISI 8620, con el fin de analizar las microestructuras y fases obtenidas en cada uno de ellos por el efecto de cada tratamiento. Se realizó metalografía a los aceros adquiridos comercialmente y a los aceros tratados, se tomaron micrografías y se midió la dureza para corroborar la transformación. Se identificaron las fases presentes en los materiales estudiados para analizar el efecto que tuvo cada tratamiento térmico en cada uno de los aceros. Se pudo evidenciar los cambios de tipo microestructural que ocurren en los materiales metálicos, en este caso en tres aceros, al ser tratados térmicamente.

Palabras clave: Tratamientos térmicos – Microestructura aceros - Fases aceros

Abstract

Termical treatments of quenching in water and oil, normalized and annealing in AISI 1045, AISI 4140 y AISI 8620 steels were performed, with the purpose of analyse the microstructures and the phases obtained by the effect of each treatment. All samples were prepared by metallography: the commerciarly acquierd steels and the treated steels, micrographys were tooked and the hardness was measures to corroborate the transformation. The phases present in the studied materials were identified to analyse the effect that each termical treatment had in each steel. We could evidence the microstructural changes that occur in metallic materials, like these three kinds of steel being termically treated.

Keywords: Heat treatment - Steel microstructure- Steel phases

Introducción

Los tratamientos térmicos son procedimientos de calentamiento y enfriamiento controlados que se realizan para modificar las propiedades de un material. ¿Qué efecto tendrán el temple, recocido y normalizado en tres de los aceros más utilizados para fabricar elementos de máquinas? En muchas aplicaciones es necesario modificar las propiedades de un material mediante un tratamiento térmico; los aceros AISI 1045, AISI 4140 y AISI 8620 serán susceptibles de una transformación de fases, para mejorar su resistencia o aliviar tensiones.

La transformación de la microestructura de palanquillas de acero 4140 luego de someterlas a temple en agua y revenido, produce el aumento de su resistencia a la tensión y su endurecimiento; este tratamiento se ve afectado por la temperatura del acero antes del temple, la temperatura del agua, el tiempo de temple y el tamaño de la palanquilla[1].

Se ha demostrado experimentalmente la correlación entre las microestructuras, las velocidades de enfriamiento y las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 durante un tratamiento térmico de temple [2], [3].

Para un ingeniero mecánico es necesario conocer las transformaciones que suceden en la microestructura de un acero durante un tratamiento térmico, debido a que hay un efecto directo en las propiedades mecánicas del material de las piezas tratadas. Por esto, es importante poder prever el cambio de un material cuando la temperatura de servicio sobrepasa la temperatura de transformación.

En el documento se presenta un proyecto de curso dentro de la asignatura Ingeniería de materiales, en donde se realizó la identificación de las fases antes y después de ser tratados térmicamente, para tres de los aceros más utilizados en ingeniería mecánica en la fabricación elementos de máquinas. Estos aceros fueron sometidos a temple en agua, temple en aceite, normalizado y revenido.

Materiales y métodos

En este estudio se utilizó acero AISI 1045, acero AISI 4140 y acero AISI 8620. Con cada uno se prepararon cinco probetas y a cuatro de ellas se les realizó tratamiento térmico según las siguientes condiciones:

A. Temple en agua

Para realizar el tratamiento térmico de temple en agua, se tuvo en cuenta el procedimiento y las temperaturas estandarizadas por la norma ASTM A-255. Se utilizó un horno mufla, el cual se calentó hasta 950°C para alcanzar la temperatura de austenización requerida (Figura 1). Se mantuvo a esta temperatura durante media hora, para garantizar austenización completa. Posteriormente se retiraron las probetas del horno y se sumergieron en agua durante un período de 10 minutos, luego se retiraron del agua y se dejaron secar al aire.

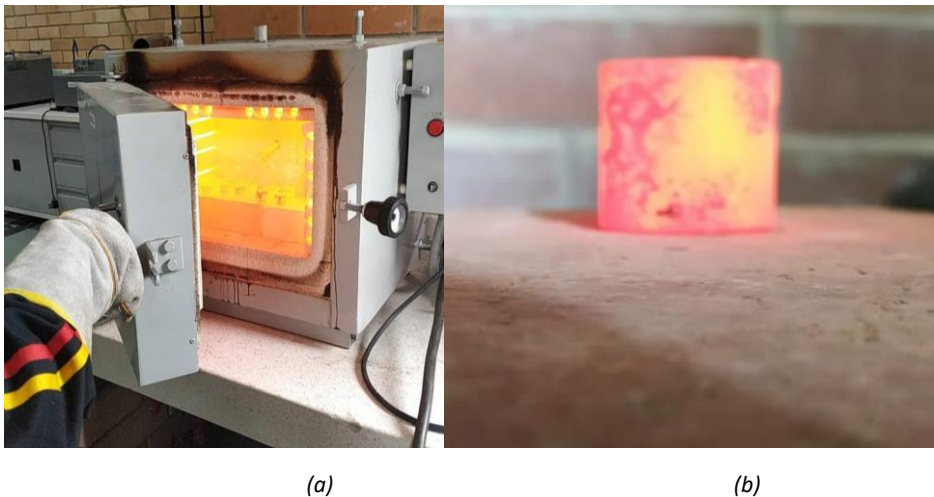


Fig. 1 (a) Probetas de acero en el horno mufla, (b) Probetas calentadas hasta temperatura de austenización completa (950°C). Fuente: Autores

B. Temple en aceite

El tratamiento térmico de temple en aceite, se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM A-255, se realizó el mismo procedimiento para el temple en agua, sólo que el medio de enfriamiento fue aceite para motor durante un periodo de 10 minutos, al finalizar este tiempo se retiraron del aceite y se dejaron secar al medio ambiente. Figura 2.



Fig. 2 Temple en aceite. Fuente: Autores

C. Normalizado

Cada una de las probetas se ingresó a la mufla alcanzando la temperatura de austenización, la cual se mantuvo durante media hora. Al cabo de este periodo se retiraron de la mufla y se dejaron enfriar al aire libre por un periodo de 3 días.

D. Recocido

Cada una de las probetas se calentó en un horno mufla hasta alcanzar la temperatura de austenización, manteniendo esta temperatura durante un periodo de media hora. Luego se apagó el horno dejando las probetas en el interior, hasta que se enfriaron allí durante un periodo de tres días.

E. Metalografía

La preparación metalográfica, se realizó con base en la norma ASTM E-3. Se tomaron muestras de barras de acero comercial AISI 1045, AISI 4140 y AISI 8620 de 25 mm de diámetro y 30 mm de altura. El corte se realizó con segueta manual. Debido al tamaño de la probeta, no se realizó montaje.

Luego de la aplicación de los tratamientos térmicos se realizó desbaste grueso y fino utilizando una pulidora metalográfica. El desbaste grueso se realizó con papel de lija números 80, 120 y 180; el desbaste fino con la serie 240, 320, 400 y 600. El pulido se realizó utilizando paño y alúmina como abrasivo hasta conseguir un efecto de espejo en las caras de la probeta. El ataque químico para revelar

la microestructura se realizó con Nital al 2%, durante un periodo no mayor a los 8 segundos por probeta. Posteriormente se lavaron y secaron para tomar la fotografía de la microestructura en un microscopio óptico.

Resultados y análisis

Comparación de microestructuras y fases

A. ACERO 1045

El AISI 1045 es un acero de grado ingeniería de aplicación universal, tiene un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Puede ser utilizado en condiciones de suministro o con tratamiento térmico. Es un acero de baja templabilidad, con una composición química de 0,43-0,50%C, 0,6-0,9%Mn, 0,04%P máx., 0,05%S máx., 0,2-0,4%Si máx. Es un acero muy utilizado para la fabricación de piezas forjadas y tratadas mediante temple y revenido [4].

La microestructura del acero estudiado, en estado comercial, se presenta en la Figura 3, en donde las zonas claras indican la fase ferrita (α) y las zonas oscuras a perlita (P).

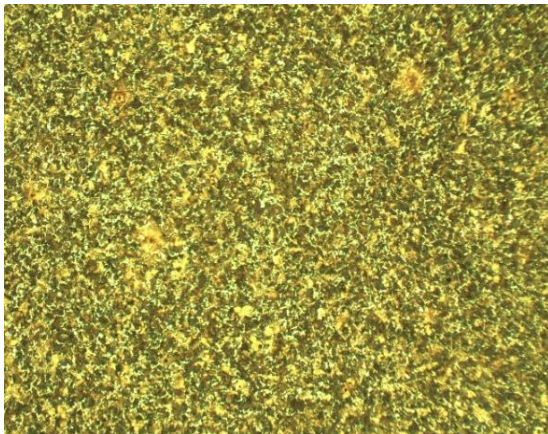


Fig. 3 Probeta de acero 1045 a 100X- Sin tratamiento. Fuente: Autores

Esta probeta se sometió a normalizado y su estructura se presenta en la Figura 4, en donde se observa un grano más homogéneo que en el acero 1045 sin tratamiento (Figura 3). Las zonas claras corresponden a ferrita y las oscuras a perlita. El tratamiento de normalizado consiste en llevar el material hasta temperatura de austenización, seguido de un enfriamiento al aire. Este tratamiento

se utiliza para aliviar tensiones internas del material, sin un cambio apreciable en la microestructura. [5]

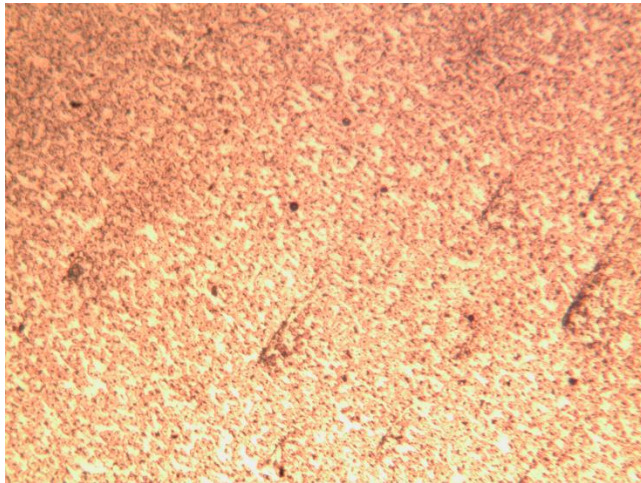


Fig. 4 Probeta de acero 1045 a 100X – Normalizada. Fuente: Autores

En la Figura 5 se aprecia el efecto del recocido en la estructura del acero 1045. En la Figura 5(a) la estructura presenta zonas claras de ferrita y zonas oscuras de perlita en proporciones de aproximadamente 50% cada una. El recocido produce un crecimiento del tamaño de grano con respecto al acero sin tratamiento térmico (Figura 3). En la parte (b) se observa la distribución de ferrita y perlita, el aumento en el tamaño de grano producirá un aumento de la ductilidad del material.

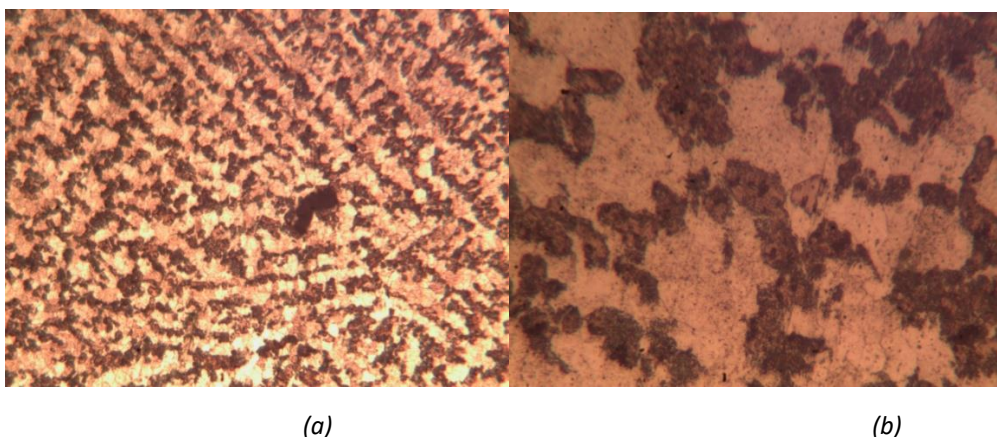


Fig. 5 Probeta de acero 1045 – Recocida. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores

En la Figura 6 se presenta la microestructura de un acero templado en aceite, se observa modificación con respecto a la estructura inicial del material. En este tipo de tratamiento se forma la fase martensita, la cual es observable a más de 1000X.

El acero 1045 templado en agua (Figuras 7a y 7b) presenta una estructura de grano fino, en la que se presume la formación de martensita.

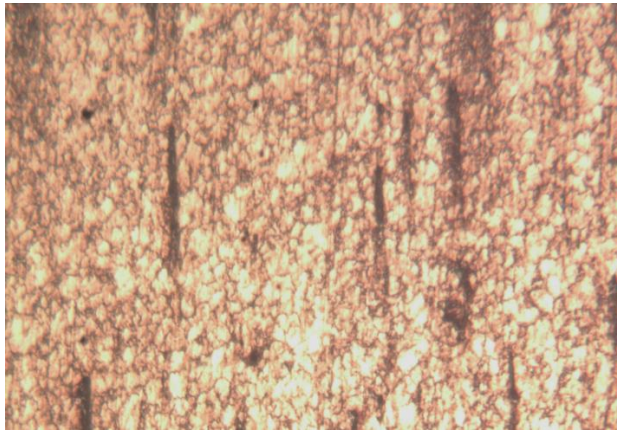
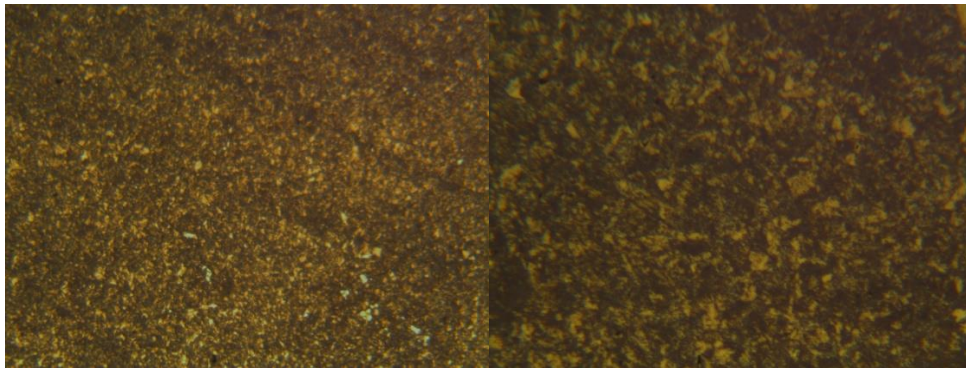


Fig. 6 Probeta de acero 1045 a 100X – Temple en aceite. Fuente: Autores



(a)

(b)

Fig. 7. Probeta de acero 1045 – Templado en agua. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores

En la Tabla 1 se presentan los valores de dureza obtenidos por el acero 1045 tratado.

Tabla 1. Valores de dureza obtenidos para el acero 1045

TRATAMIENTO TÉRMICO	DUREZA (HBN)
Sin tratamiento	92-98
Normalizado	93-87
Recocido	88-87
Temple en Aceite	111-119
Temple en Agua	128-146

Fuente: Autores

B. ACERO 4140

El acero AISI-SAE 4140 tiene una composición química estándar de 0.38 - 0.43 %C, 0.75 - 1.00 % Mn, 0.15 - 0.35 % Si, 0.80 - 1.10 % Cr, 0.15 - 0.25 % Mo, 0.035 % P máximo, y 0.040 % S máx., (porcentajes en peso). El acero 4140 es un acero aleado grado maquinaria. El contenido de cromo y molibdeno incrementa la resistencia a la tensión, buena templabilidad, tenacidad y alta resistencia al desgaste. [6]

Este es uno de los aceros aleados de medio carbono más usados, siendo relativamente de bajo costo, considerando la alta templabilidad que ofrece. El 4140 totalmente endurecido posee rangos de 543-634 HBN, dependiendo de la cantidad precisa de carbono. En la Figura 8 se presenta la microestructura obtenida para el acero 4140 sin tratamiento térmico, en la cual las zonas claras corresponden a ferrita (α) y las zonas oscuras a perlita (P).

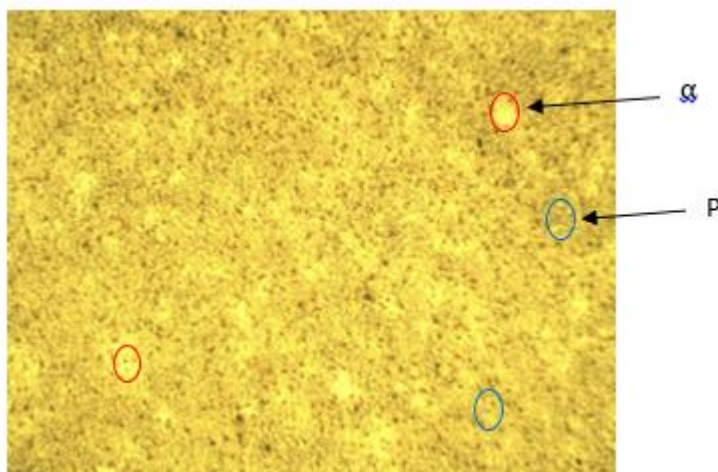


Fig. 8 Probeta de acero 4140 a 100X- Sin tratamiento. Fuente: Autores

En la Figura 9 se observan un poco más definidos los granos en el material luego del normalizado. Este tratamiento permite aliviar tensiones internas del material, producidas por los procesos de conformado, la estructura es muy similar al acero no tratado, lo cual permite inferir que no habrá un cambio significativo en las propiedades mecánicas de este material, luego de un normalizado. Las regiones claras corresponden a ferrita y las oscuras a perlita.

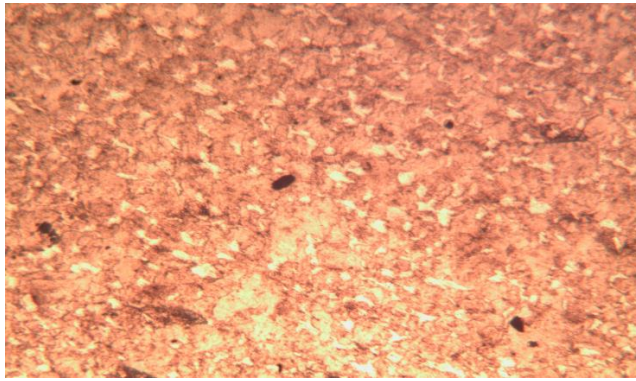


Fig. 9 Probeta de acero 4140 a 100X – Normalizada. Fuente: Autores

La Figura 10 muestra la estructura del acero 4140 a 100 X luego del tratamiento de recocido. Se evidencia un cambio significativo en la microestructura del acero, se observa el crecimiento del tamaño de grano de la ferrita (zonas claras) con respecto a este acero sin tratamiento térmico. Las zonas oscuras corresponden a perlita (P), cuyos granos están bien definidos y son más gruesos con respecto al acero 4140 sin tratamiento. El crecimiento de grano se debe a una baja velocidad de enfriamiento. Esto permite evidenciar que este material es susceptible al recocido, lo cual influye en sus propiedades mecánicas así: disminuye la resistencia a la tensión, por tener un tamaño de grano más grueso que el material inicial, aumenta su ductilidad, debido al aumento de ferrita y por lo tanto disminuye su dureza.

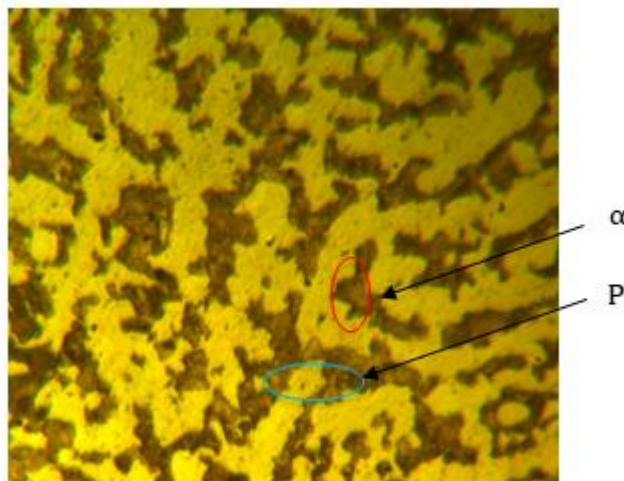


Fig. 10 Probeta de acero 4140 a 100X – Recocido. Fuente: Autores

La estructura del acero 4140 templado en aceite se presenta en la Figura 11. En la parte (a) a 100X se alcanza a apreciar una estructura acicular, que es más notoria a 400X (b), en donde se observan agujas negras de bainita superior en una matriz de martensita (clara). Estas fases aparecen porque el aceite permite una alta

velocidad de enfriamiento del acero, pero no tan elevada como en el temple con agua. El aceite aumenta su temperatura durante el temple y permite que la temperatura final se mantenga por un tiempo, permitiendo la formación de bainita. La resistencia mecánica obtenida aumenta con respecto al acero inicial.

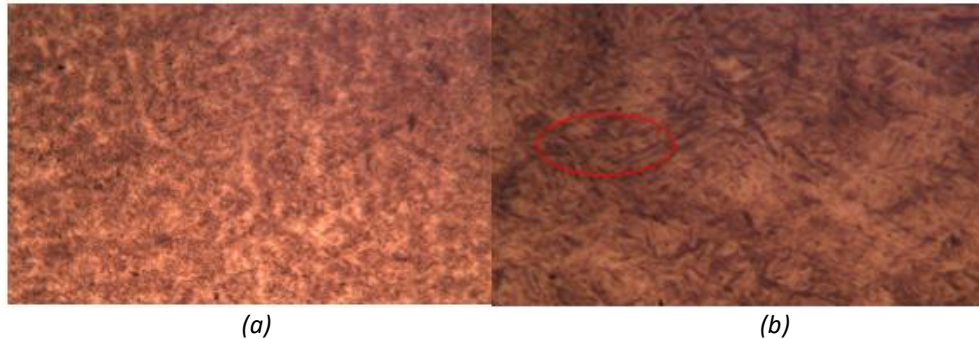


Fig. 11 Probeta de acero 4140 – Templado en aceite. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores

En el caso del temple en agua para el acero 4140 (Figuras 12a y 12b), se observa una estructura alargada, como pequeñas agujas de martensita (negras), en una matriz clara de austenita retenida. Estas fases aparecen por la alta velocidad de enfriamiento del acero, debido a la rápida pérdida de calor de la austenita, sin que actúe la difusión. Esta transformación de fases genera un aumento en la fragilidad del material y en la dureza, en ocasiones agrietamiento. En la Figura 12(b) se observa más claramente la estructura acicular.

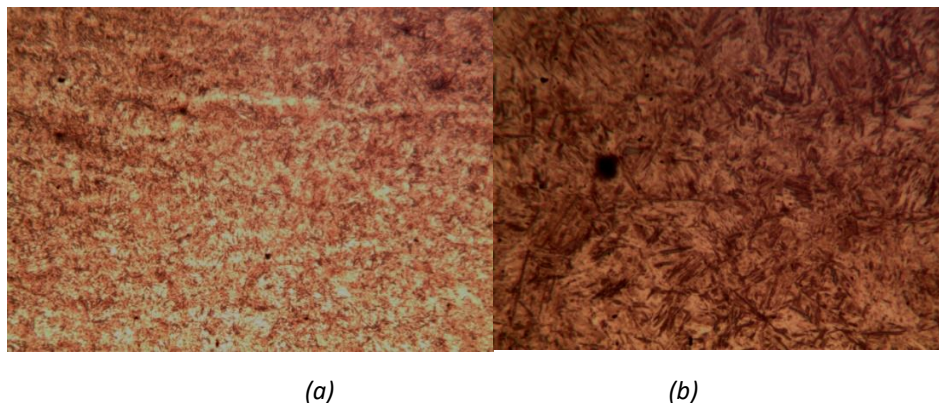


Fig. 12 Probeta de acero 4140– Templado en agua. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores

En la Tabla 2 se presentan los valores de dureza obtenidos por el acero 4140 tratado.

Tabla 2. Valores de dureza obtenidos para el acero 4140.

TRATAMIENTO TÉRMICO	DUREZA (HBN)
Sin tratamiento	165-166
Normalizado	128-171
Recocido	101-104
Temple en Aceite	185-206
Temple en Agua	304-319

Fuente: Autores

C. ACERO 8620

Es un acero de baja aleación al níquel-cromo-molibdeno. Se utiliza en piezas que requieran una superficie considerablemente más dura que el núcleo. Es un acero para cementación y para temple superficial, manteniendo gran tenacidad en el núcleo.

La composición química es: 0.18 - 0.23 %C, 0.70 - 0.90 % Mn, 0.15 - 0.35 % Si, 0.80 - 1.10 % Cr, 0.40 - 0.70 % Mo, 0.15-0.25, 0.035 % P máximo, y 0.040 % S máx., (porcentajes en peso). [7]

Este acero se utiliza en la fabricación de engranes, piñones, árboles de levas, moldes para la industria del plástico, mordazas, coronas y satélites, entre otros.

Las fases presentes en el acero 8620 sin tratar son ferrita y perlita. La Figura 13 presenta la estructura obtenida en el normalizado de este acero. Se pueden observar las fases bien definidas en donde las zonas claras son de ferrita y las zonas oscuras de perlita.

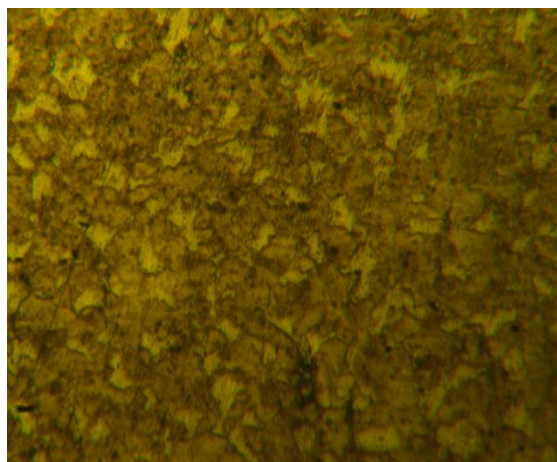


Fig.13 Probeta de acero 8620 a 100X- Normalizada. Fuente: Autores

En la Figura 14 se aprecia la estructura del acero 8620 recocido. Se nota el aumento en el tamaño de grano, con respecto al mostrado en la Figura 13, lo cual hará que el acero disminuya su resistencia mecánica.

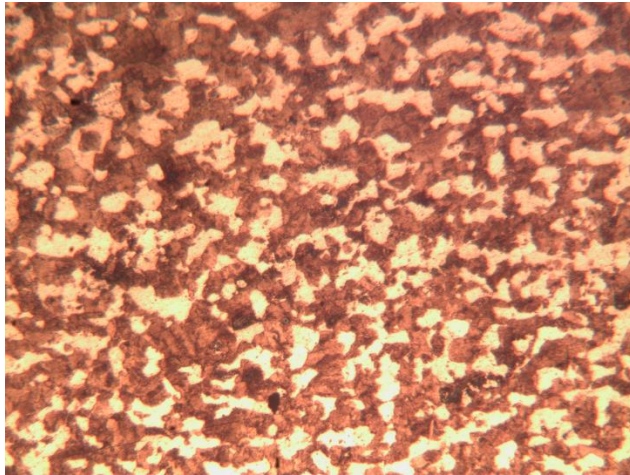


Fig. 14 Probeta de acero 8620 a 100X- Normalizada. Fuente: Autores

Las Figuras 15 a y 15b presentan la estructura del acero 8620 templado en aceite a 100 X y 400X, respectivamente. Las líneas negras a 400X nos indican la presencia de bainita en una matriz de ferrita (zona clara).

Este acero se templó también en agua y su estructura se observa en la Figura 16. En la parte (a) se alcanzan a visualizar zonas alargadas, indicio de la formación de martensita. A 400X (Figura 16b) se aprecia con más detalle zonas oscuras alargadas, correspondientes a la fase martensita en una matriz ferrítica. Esta probeta se fracturó (Figura 17), debido al choque térmico (alta velocidad de enfriamiento) producido durante el tratamiento. Esto indica que no es recomendable este tratamiento para el acero 8620, lo cual se corrobora con el aumento de la dureza (Tabla 3).

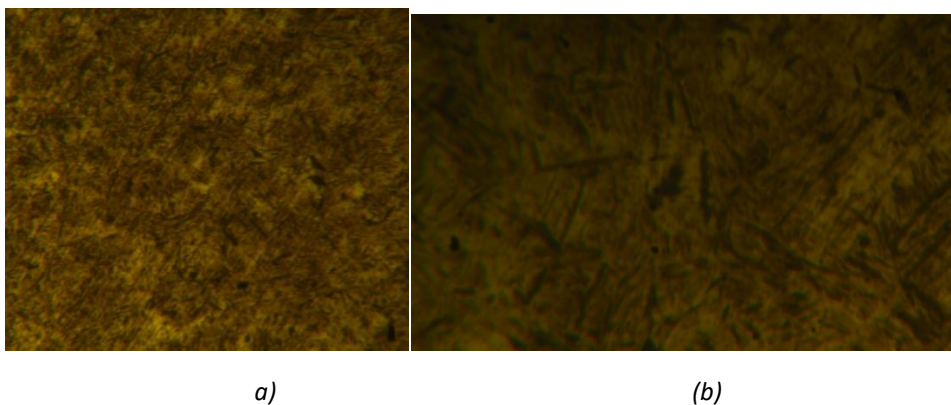


Fig. 15. Probeta de acero 8620 – Templado en aceite. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores

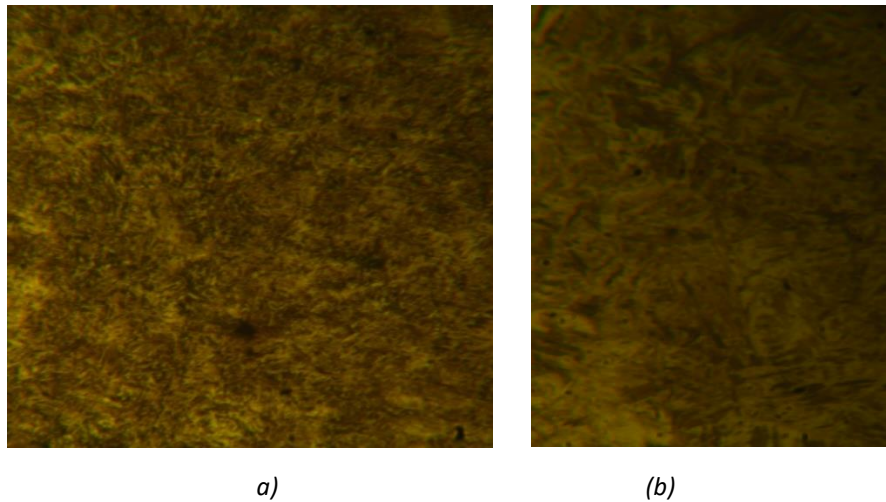


Fig.16 Probeta de acero 8620 – Templado en agua. (a) 100X, (b) 400X. Fuente: Autores



Fig. 17 Probeta de acero 8620 fracturada por el temple en agua. Fuente: Autores

En la Tabla 3 se presentan los valores de dureza obtenidos por el acero 8620 tratado.

Tabla 3. Valores de dureza obtenidos para el acero 8620.

TRATAMIENTO TÉRMICO	DUREZA (HBN)
Sin tratamiento	209-217
Normalizado	130-128
Recocido	93-104
Temple en Aceite	339-349
Temple en Agua	396-409

Fuente: Autores

Conclusiones

Teniendo en cuenta la estructura del acero 1045 templado en aceite se puede evidenciar que, al temprar este tipo de material en aceite, su temperatura de enfriamiento es mucho más lenta, por lo cual se forma la fase bainita en su microestructura.

Se pudo evidenciar que al aplicar el tratamiento de temple en agua a un acero 8620, vuelve el material muy duro y por ende bastante frágil, lo cual genera grietas en el material.

Con base en los resultados obtenidos, se nota que los tratamientos térmicos lograron demostrar su efectividad en la mayoría de los casos, dado que se consiguió el cambio esperado en las microestructuras, teniendo mayor notoriedad el tratamiento de recocido, dado que en todos los casos se pudo evidenciar el crecimiento de los granos, dado que su enfriamiento fue bastante lento (con una duración de 3 días dentro del horno mufla)

Considerando los resultados obtenidos en los 3 tipos de aceros luego del tratamiento de normalizado, se puede demostrar la eliminación de tensiones internas, ya que los valores de dureza se redujeron con respecto al material inicial.

Referencias

- [1] Meysami A. H., R.Ghasemzadeh, S.H.Seyedein, M.R.Aboutalebi. (2010) An investigation on the microstructure and mechanical properties of direct-quenched and tempered AISI 4140 steel. Materials & Design Volume 31 (3) , 1570-1575
- [2] Nunura C.R.N., dos Santos C.A. Spim, J. (2015) Numerical – Experimental correlation of microstructures, cooling rates and mechanical properties of AISI 1045 steel during the Jominy end-quench test panel Materials & Design Volume 76 (5), 230-243
- [3] Pere M.S. Tratamientos térmicos de los metales. (1991) Marcombo Boixareu editores. Barcelona. P.

[4] Compañía General de Aceros S.A. (2018) Catálogo virtual, Colombia. Disponible en: <http://www.cga.com.co/productos-y-servicios/catalogo-virtual>

[5] Salán, M. (2009) Tecnología de proceso y transformación de materiales. Ediciones UPC. Barcelona

[6] Ferrocortes G.M Y CIA S.A.S (2016) Ferrocortes soluciones en acero, Colombia : <http://www.ferrocortes.com.co/category/lineas/barras/aisi-sae-4140/>

[7] Ferrocortes G.M Y CIA S.A.S (2016) Ferrocortes soluciones en acero, Colombia: <http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-02-003-AISI-SAE-8620.pdf>



Análisis por Elementos Finitos de un Proceso de Conformado de Estampado

Liseth Tatiana González López, Edwin Ferney Gómez Naizaque, Yina Faizully Quintero Gamboa

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia

Abstract

To know the behavior of a steel plate subjected to a non-linear deformation, caused by a forming process, a finite element simulation was performed. This simulation, made in the ANSYS Workbench program, shows the total deformation of the element and the stresses present in it. The values obtained were analyzed, based on the process carried out in practice.

Introducción

Las simulaciones por elementos finitos son una herramienta poderosa de análisis usada cada vez con mayor frecuencia. Esto se debe a que permite conocer con anterioridad el comportamiento que tendrá un cuerpo, una estructura, un fluido, o incluso un proceso de manufactura, al someterse a las cargas, deformaciones o esfuerzos determinados [1]. La principal ventaja de las simulaciones es su aproximación a un modelo real, sin la necesidad de construir un prototipo funcional, el cual toma más tiempo, costo y recursos de fabricación (equipos, herramientas y personal). Adicionalmente, permite optimizar la geometría de piezas y prototipos, a través del rediseño y evaluación de los mismos [2].

En este caso, fue necesario analizar un proceso de conformado (estampado) de una placa de acero. La placa es sometida a un doblado, causado por un punzón esférico que se desplaza verticalmente sobre una matriz. El análisis se hizo con una simulación por elementos finitos en el programa ANSYS Workbench, por medio de un análisis estructural estático. En la simulación es posible evidenciar la deformación de la placa y sus puntos críticos. A su vez, se observan las secciones que se someten a mayor esfuerzo por la deformación presente en el cuerpo. Para facilitar el análisis de resultados, en el

software es posible generar las gráficas de deformación y de esfuerzo equivalente, que permiten evidenciar dicho comportamiento de manera más explícita, a lo largo de tiempo.

Es necesario, caracterizar correctamente los materiales, los contactos y el comportamiento de los elementos de la simulación, para que el resultado sea acertado y lo más próximo posible al proceso visto en la práctica. Por ello, a continuación, se presenta el proceso seguido para realizar la simulación de manera ideal y los resultados obtenidos.

Desarrollo

Para hacer la simulación de manera ordenada y efectiva es necesario tener en cuenta el material de las piezas, las geometrías del punzón, la placa y la matriz. Además, se deben caracterizar los contactos de las piezas, la malla necesaria para un análisis más preciso, los apoyos y los desplazamientos de las piezas.

A. Caracterización de los Materiales

El material escogido es metálico, específicamente una aleación de acero. En el programa ANSYS se encuentra precargado como *Structural Steel*, con propiedades mecánicas predeterminadas. El módulo de Young es de $2 \times 10^5 \text{ MPa}$ y tiene un coeficiente de Poisson de 0,3. Sin embargo, para la placa es necesario agregarle un comportamiento no lineal al acero, debido a la deformación que se le desea hacer. Esto, se logra configurando el material con las mismas características del acero, pero agregando un *Bilinear Isotropic Hardening* (endurecimiento isotrópico bilineal) en las propiedades del material. Este posee propiedades mecánicas como el límite elástico de 250 MPa y un módulo tangente de 1600 M . A continuación, se muestran las propiedades del *Structural Steel* en la Fig. 1 y del acero modificado para la placa, al cual se le asignó un nombre de *Chapa* para diferenciarlo en la simulación (Fig.2).

Property	Value	U
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modu...	
Young's Modulus	2E+05	MPa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa

Details of "Frictionless - Base To Placa" ▾		Details of "Frictionless - Placa To Apoyo" ▾	
Scope		Scope	
Scoping Method	Geometry Sel	Scoping Method	Geometry Sel
Contact	5 Edges	Contact	1 Edge
Target	1 Edge	Target	1 Edge
Contact Bodies	Base	Contact Bodies	Placa
Target Bodies	Placa	Target Bodies	Apoyo_1
Shell Thickness Effect	No	Shell Thickness Effect	No
Protected	No	Protected	No
Definition		Definition	
Type	Frictionless	Type	Frictionless

Fig. 1 Propiedades mecánicas del acero estructural

Property	Value	
Material Field Variables	Table	
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulu...	
Young's Modulus	2E+05	MPa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	250	MPa
Tangent Modulus	1600	MPa

Fig. 2 Propiedades mecánicas del acero utilizado para la placa

B. Geometría

Para la simulación deben estar presentes todos los elementos del proceso de conformado: el punzón, la matriz, la placa y los sujetadores. En la Fig. 3 se puede evidenciar la geometría con sus dimensiones (todas están en mm). La placa tiene una longitud de 90 mm, para este análisis.

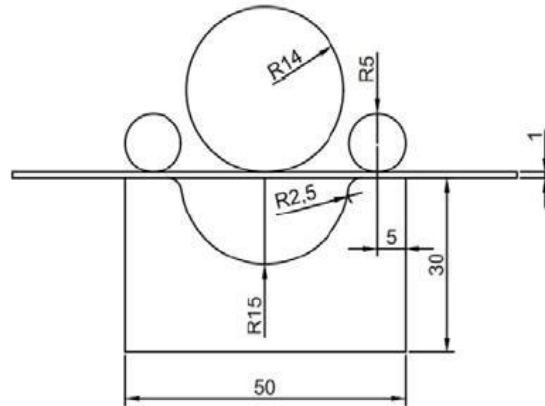


Fig. 3 Geometrías del proceso de conformado

C. Contactos

Los tipos de contactos establecidos para cada componente son fundamentales para que su comportamiento sea el adecuado, y no provoque errores al momento de la interacción entre éstos. Para este caso, habrá dos tipos de contacto: sin fricción y con fricción. Los contactos sin fricción corresponden a aquellas partes en donde la placa se deslizará una vez se aplique la fuerza del punzón. La placa con la matriz (base), y con ambos apoyos poseen este tipo de contacto (Fig. 4).

Los bordes de cada pieza que están en contacto se presentan en la Fig. 5, especificando de manera más clara los contactos sin fricción mencionados.

Fig. 4 a) Contacto sin fricción de la placa con la base b) Contacto sin fricción de la placa con los apoyos

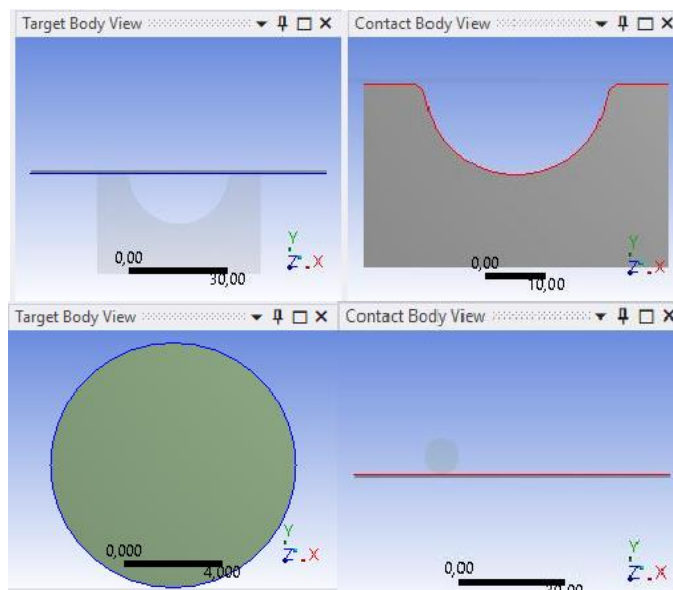


Fig. 5 Bordes de las piezas en contacto sin fricción

etails of "Frictional - Placa To Punzon" ▾ □	
Contact	1 Edge
Target	1 Edge
Contact Bodies	Placa
Target Bodies	Punzon
Shell Thickness Effect	No
Protected	No
Definition	
Type	Frictional
☐ Friction Coefficient	0,2
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Contro...
Trim Contact	Program Contro...
Trim Tolerance	0,26904 mm
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Small Sliding	Program Contro...

Los contactos con fricción solo de evidencian entre el punzón y la placa, ya que éste no tiene que deslizarse a momento de interactuar con la placa. Se asignó un valor de 0,2 como coeficiente de fricción, y una formulación *Pure Penalty*. Esta formulación le da al contacto una mejor caracterización de la rigidez, ya que al penetrar el punzón en la placa puede haber una ruptura de ésta en vez de la deformación que se le desea realizar. En la Fig. 6 se observan dichas características del contacto.

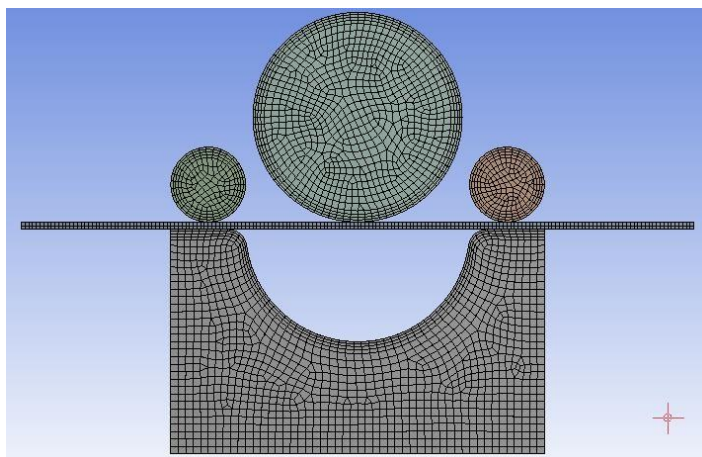


Fig. 6 Características del contacto con fricción

Así mismo se presentan los bordes que entran en contacto en cada pieza en la Fig. 7.

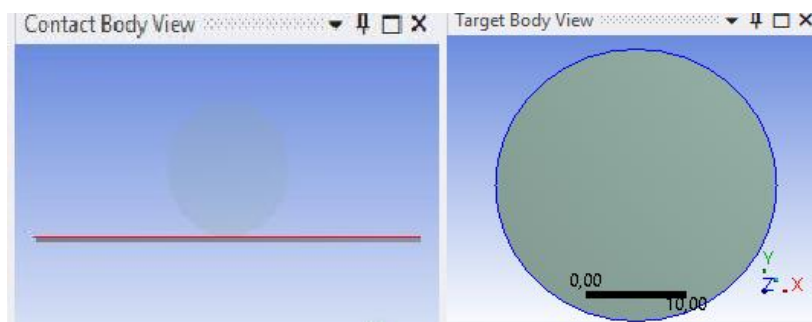


Fig. 7 Bordes de las piezas en contacto con fricción

D. Configuración de Malla

La malla de los elementos analizados en una simulación permite acercarse de manera precisa al valor real del proceso, ya que al haber más elementos analizados la exactitud y precisión de los valores será mejor. Por esta razón, un refinamiento de malla de 1 mm fue elegido para el proceso de conformado. Además, se utilizó la herramienta *Sizing* en la placa, especificando una configuración de 0,5 mm. Para los demás elementos (matriz, punzón y apoyos) se les realizó un refinamiento con la herramienta *Inflation* la cual permite mejorar el tamaño de los elementos en las capas límites (contactos) de los elementos. Para éste último, se tomaron 4 capas del elemento con una

relación de transición de 0,5; los demás valores se conservaron automáticamente del programa.

La malla obtenida para la geometría del conformado se presenta en la Fig.8, y en la cual se puede evidenciar las características especificadas anteriormente.

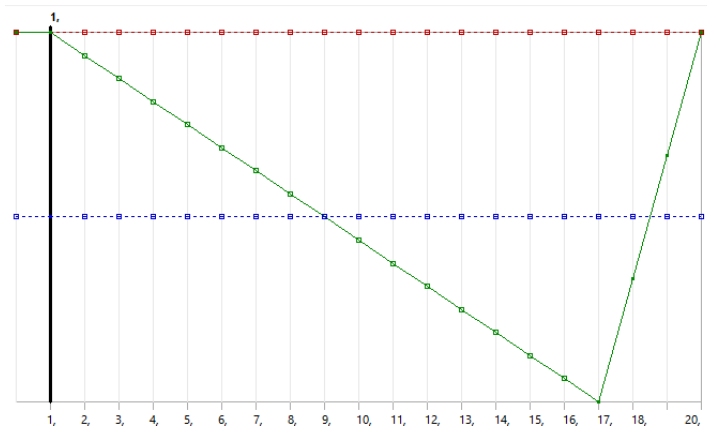


Fig. 8 Malla con refinamiento, de la geometría

E. Imposición de Soportes

Es necesario especificar las piezas que se quedan fijas al momento de la simulación. Para ello, se impone un *Fixed Support* (soporte fijo) en la matriz, y en los dos apoyos. Asegurando que dichas piezas no tendrán ningún desplazamiento a lo largo del tiempo. En la Fig. 9 se observa el apoyo aplicado.

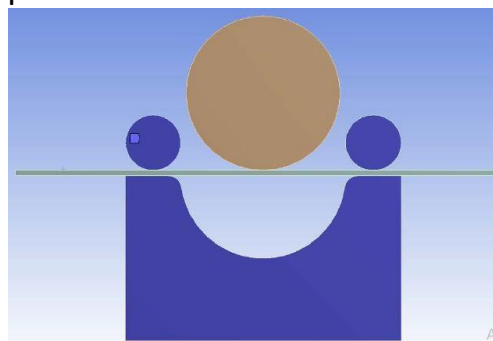


Fig. 9 Soportes fijos de la geometría

F. Desplazamiento del Punzón

Para caracterizar el movimiento del punzón se utiliza la herramienta *Remote Displacement* y se limita el movimiento al eje y, en el cual

se ingresan los valores de la posición (Fig. 10), para el movimiento que tendrá en el tiempo; en los demás ejes se establece un desplazamiento de 0 (cero).

	Steps	Time [s]	✓ X [mm]	✓ Y [mm]	✓ RZ [°]
1	1	0,	= 0,	0,	= 0,
2	1	1,	0,	0,	0,
3	2	2,	= 0,	= -0,9375	= 0,
4	3	3,	= 0,	= -1,875	= 0,
5	4	4,	= 0,	= -2,8125	= 0,
6	5	5,	= 0,	= -3,75	= 0,
7	6	6,	= 0,	= -4,6875	= 0,
8	7	7,	= 0,	= -5,625	= 0,
9	8	8,	= 0,	= -6,5625	= 0,
10	9	9,	= 0,	= -7,5	= 0,
11	10	10,	= 0,	= -8,4375	= 0,
12	11	11,	= 0,	= -9,375	= 0,
13	12	12,	= 0,	= -10,312	= 0,
14	13	13,	= 0,	= -11,25	= 0,
15	14	14,	= 0,	= -12,188	= 0,
16	15	15,	= 0,	= -13,125	= 0,
17	16	16,	= 0,	= -14,062	= 0,
18	17	17,	= 0,	-15,	= 0,
19	18	18,	= 0,	-10,	= 0,
20	19	19,	= 0,	-5,	= 0,
21	20	20,	= 0,	0,	= 0,

Fig. 10 Gráfica y tabla de valores del desplazamiento en “y” del punzón

Por último, se modifica las configuraciones del análisis, especificando 20 pasos para la simulación, y activando la herramienta *Large Deflection* que permite la flexión de la placa (Fig. 11).

Details of "Analysis Settings" ▾	
Step Controls	
Number Of Steps	20,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off

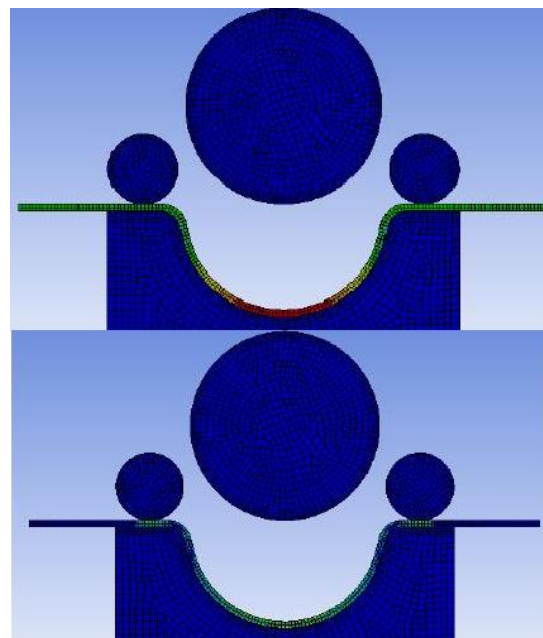


Fig. 11 Configuraciones de Analysis Settings

Resultados

Inicialmente se hizo una configuración incorrecta de los contactos entre las piezas y se obtuvieron deformaciones erróneas al momento de la simulación. En la Fig. 12 se observan los resultados obtenidos en primera instancia.

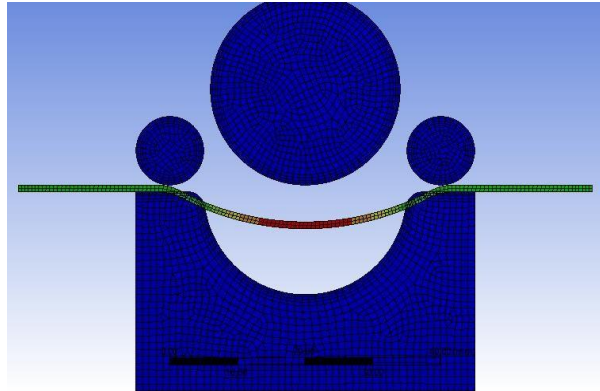


Fig. 12 Deformación errónea de la placa

Se pudo evidenciar la restricción que no se tuvo en los filetes de la matriz, por lo que no se respetaron al momento del desplazamiento del punzón. De esta misma manera, los esfuerzos en la placa no fueron los esperados (Fig. 13).

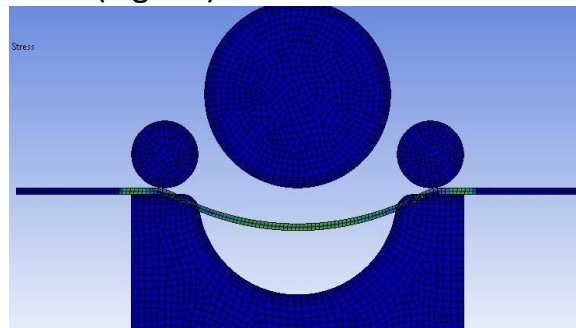


Fig. 13 Esfuerzo equivalente erróneo de la placa

Finalmente, se realizaron las correcciones pertinentes en los contactos (como se especifica a lo largo del texto), y se obtuvo una deformación de 14,991 mm, y un valor de esfuerzo equivalente de 253,17 MPa. Ambos valores se obtienen en el paso 20 de la simulación, es decir al final de ésta. En la Fig. 14 se observan las deformaciones y el esfuerzo equivalente deseados, al momento del proceso de conformado de la placa

Fig. 14 a) Deformación total esperada en la placa. b) Esfuerzo equivalente esperado en la placa

Además, fue posible observar gráficamente el comportamiento, en “Deformación (mm) vs tiempo (s)”, en cada eje de movimiento de la placa al ser deformada por el punzón (Fig. 15).

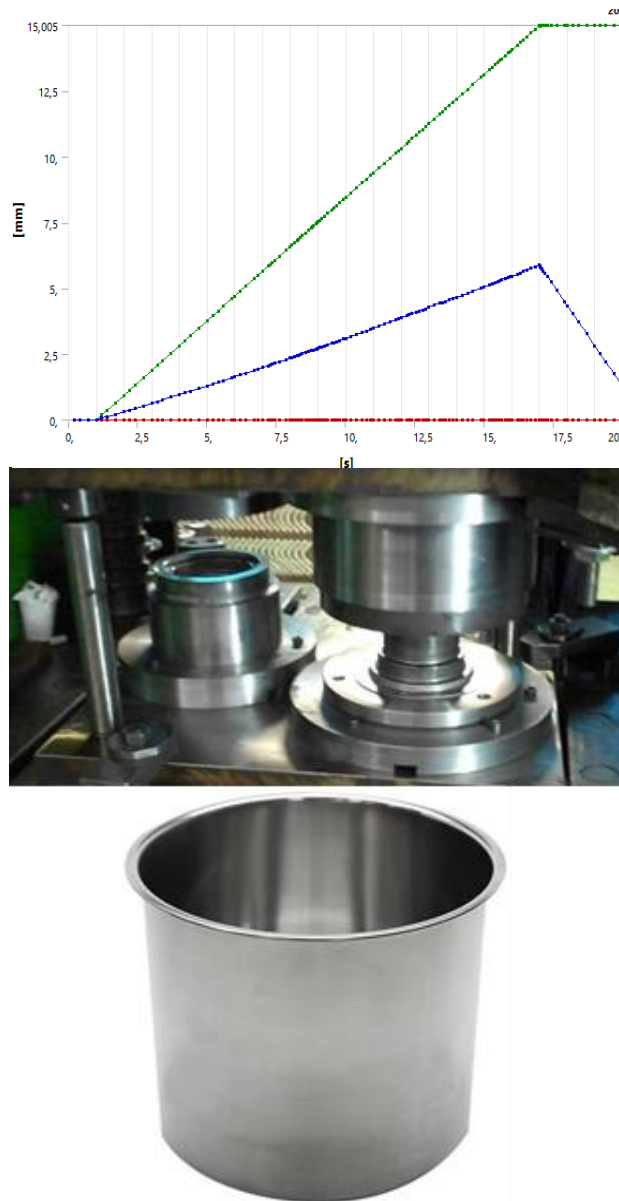


Fig. 15 Gráfica que evidencia el desplazamiento de la placa en los tres ejes de movimiento.

Y, de igual manera, se muestra la gráfica “Esfuerzo (MPa) vs tiempo (s)”, del esfuerzo equivalente en los tres ejes en la Fig. 16. En esta gráfica se puede observar el momento en que la placa pasa de la zona elástica a la zona plástica. Además, se interpreta el momento en que el punzón deja de ejercer presión sobre la placa (paso 16,7 aproximadamente) por la disminución momentánea en los valores del esfuerzo en la placa.

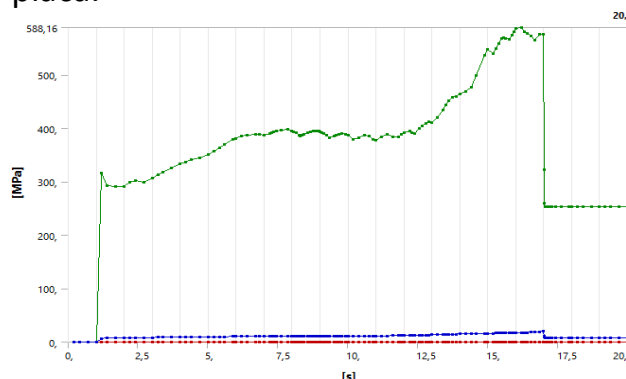


Fig. 16 Gráfica que evidencia el esfuerzo equivalente en la placa, en los tres ejes de movimiento.

Conclusiones

La simulación por elementos finitos permite conocer con anterioridad el comportamiento de los materiales durante su procesamiento para disminuir los posteriores errores de manufactura [4]. Estos errores se traducen en pérdidas económicas, y de tiempo en la línea de producción, por lo que la simulación se hace una parte fundamental del proceso de manufactura.

La correcta caracterización de los elementos (materiales contactos, soportes, desplazamientos, y demás) influyen en los resultados obtenidos. Entre más precisa sea la información suministrada al programa, más acertados serán los valores obtenidos.

El proceso de estampado en la industria es muy utilizado debido al poco tiempo que se requiere para manufacturar gran cantidad de piezas (placas). Sin embargo, el material a utilizar debe escogerse según sus propiedades, o tener en cuenta la complejidad de la geometría, para que, al momento de realizar en plegado, no se presenten rupturas o grietas [3].

En la Fig. 14 se observa un proceso de conformado de estampado en la industria. Se evidencia la prensa hidráulica (punzón) encargada de ejercer la presión sobre la chapa (placa) para darle la forma deseada. Y, también se ve el resultado del proceso. Fig. 17 a) Proceso de conformado de estampado en la industria. b) Pieza obtenida por estampado Fuente: a) <http://cyberspaceandtime.com/-ij4Lpn0B-0.video+related>, b) <https://www.missiontotalsupply.com/product/stainless-steel-ice-block-mold/>

Referencias

- [1].S. Hernández and E. Cárdenas, "Analysis theoretical-practice of efforts and by finite elements of a tension test", Ingenio Magno; Vol. 9, Núm. 1 (2018); p.42-55, 2018. [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1715/1560>.
- [2].C. León, C. Aguirre and D. Castellano, "Static analysis of the elements of the suspension of an electric formula type single-seater car", Ingenio Magno; Vol. 9, Núm. 2 (2018); p. 131-147, 2018. [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1715/1560>.
- [3] J. Colorado, «Análisis de las características de los modelos de material,» Revista de la Universidad Carlos III de Madrid, pp. 24-30, 2008
- [4] S. Bravo, «Desarrollo de un modelo virtual para el conformado,» Ingeniería, pp. 9-14, 2017.