

## **MODIFICACIONES DE LA MATRIZ DE CONTRADICCIONES PARA EL DISEÑO DE ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS DE MATERIAL PLÁSTICO**

### **MODIFICATIONS TO MATRIX OF CONTRADICTIONS FOR DESIGNING PLASTIC SPUR GEARS**

*Paul Marcelo Tacle Humanante*<sup>1\*</sup>, *Jorge Laureano Moya Rodríguez*<sup>2</sup>  
y *José Roberto Marty Delgado*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Extensión Latacunga. Calles Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Cotopaxi-Latacunga, Ecuador.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química. Universidad Federal de Bahía. Escuela Politécnica. Calle. Prof. Aristides Novis, 2. Federação, Salvador de Bahía. Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Abril 16, 2018; Revisado: Agosto 13, 2018; Aceptado: Septiembre 14, 2018

### **RESUMEN**

La Teoría para Resolver Problemas de Inventiva (TRIZ) es un método muy utilizado hoy en día para la resolución de tareas de ingeniería y para el desarrollo de nuevos productos. Dos de los fundamentos claves para aplicar la TRIZ son la matriz de contradicciones y los principios de ingeniería. Los mismos han permanecido casi inalterables desde su creación y los diseñadores tienen dificultades para usarlos con éxito en una amplia gama de configuraciones de problemas ingenieriles. El objetivo del presente trabajo es exponer los resultados del análisis de la matriz de contradicciones y de los principios de ingeniería, tomando como base el desarrollo científico tecnológico actual, así como las modificaciones requeridas en el campo de la ingeniería mecánica en general, aplicadas al diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores de material plástico.

**Palabras clave:** Engranajes cilíndricos; matriz de contradicciones; principios de ingeniería; TRIZ.

---

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

---

\* Autor para la correspondencia: Paul M. Tacle, Email: [pmtacle@gmail.com](mailto:pmtacle@gmail.com)

## **ABSTRACT**

The Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) is a method widely used today to solve engineering tasks and to develop new products. Two of the key foundations to apply TRIZ are the matrix of contradictions and the engineering principles. They have remained almost unchanged since their origin, and designers have difficulty using them successfully in a wide range of engineering problem configurations. The objective of this paper is to present the results of contradiction matrix and the engineering principles analysis, based on current scientific and technological development, as well as the modifications required in the field of mechanical engineering in general, applied to the design of plastic spur gear transmissions.

**Key words:** Spur gears; matrix of contradictions; engineering principles; TRIZ.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Uno de los métodos más usados hoy en día para resolver problemas de Ingeniería es el llamado “Método TRIZ”, acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*). Para formular adecuadamente un problema y aplicar la TRIZ, lo primero es definir las contradicciones físicas y técnicas del problema de una manera adecuada. En gran medida, la parte "contradicciones" termina con una serie de recomendaciones de principios inventivos o de ingeniería a ser usados dentro de la lista de 40 posibilidades actualmente conocidas. Las contradicciones se consideran el origen de todo problema técnico y surgen cuando dos necesidades de un producto o proceso están en conflicto y sin embargo, están asociadas para alcanzar un objetivo, (Yanwei et al., 2016).

El planteamiento adecuado de cualquier problema de inventiva o innovación tecnológica, proporciona en gran medida, o la solución más adecuada o señala el mejor camino a seguir, (Aguilar y col., 2013). Un análisis realizado por (Martinez, 2007) indica que, de todos los ámbitos de la ingeniería, especialmente el relacionado con la mecánica y sus derivaciones, es el diseño conceptual; el más huérfano de apoyo de herramientas, metodologías y hasta tecnologías. Esto fue así hasta que surgiera con fuerza la alternativa del Método TRIZ, (Orloff, 2017). Este método ha sido aplicado con éxito a muchos problemas de ingeniería (Ishak et al., 2018), (Rahim et al., 2018), (Weng y Wu, 2018).

El objetivo del presente artículo es ampliar y completar la matriz de contradicciones de la TRIZ con vista a aumentar su utilidad y objetividad para los diseñadores mecánicos, especialmente para los diseñadores de engranajes. Las propuestas son evaluadas a través de un ejemplo de cálculo aplicado a las transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores de material plástico.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***2.1 Solución de problemas usando TRIZ***

La solución de problemas usando la metodología TRIZ comprende cuatro pasos, (Orloff, 2016):

1. **Problema particular o específico:** El problema específico se debe llevar a un problema genérico, es decir, se deben usar los 39 parámetros técnicos de TRIZ para identificar completamente el problema.
2. **Problema genérico:** En esta etapa se analiza la matriz de contradicciones, cuya función es mostrar cómo otros problemas generales análogos al que se plantea han sido resueltos por medio de la historia del conocimiento.
3. **Solución general:** Son conocidas como principios de inventiva y son soluciones que se pueden dar al problema dado.
4. **Solución específica:** Finalmente, al usar estas soluciones generales, se trata de solucionar el problema específico. Este tipo de procedimiento permite romper con la inercia psicológica y, de esta manera, se logran soluciones innovadoras y soluciones a problemas concretos.

## **2.2 Matriz de contradicciones y principios de invención**

La matriz de contradicciones es la herramienta que contrasta las características o parámetros del sistema que se deben mejorar, frente a los parámetros de diseño que se deterioran o empeoran. En la intersección de estos se establecen los principales principios de inventiva involucrados que han de ser empleados en solución de una contradicción particular. Altshuller desarrolló los denominados “40 principios de invención”, que pueden ser consultados en (Altshuller, 2002), destacándose entre ellos los siguientes, que pueden ser aplicados al diseño mecánico:

- Asimetría que consiste en sustituir una forma simétrica por una asimétrica, y si el objeto fuese asimétrico, aumentar el grado de asimetría.
- Uso de materiales compuestos.

Los principios inventivos son necesariamente de naturaleza genérica, o sea no obedecen a ninguna rama de las ingenierías en particular. Según Mann (2001), la aplicación subsiguiente de este tipo de declaración genérica a las condiciones inevitablemente específicas de un problema particular puede ser a menudo un proceso lleno de incertidumbre.

Muchos usuarios de TRIZ debaten el valor de la matriz de contradicciones como una herramienta para resolver problemas (Domb, 2014), (Nassar y AbouRizk, 2016).. Una gran parte de insatisfacción con la matriz de contradicciones, es que algunos conceptos se encuentran desactualizados, y su actualización requiere de mucho esfuerzo. En (Swee et al., 2016) se muestran los 39 parámetros o características que tienen los sistemas tecnológicos propuestos por Altshuller. Estos parámetros colocados en filas y en columnas, constituyen la matriz de contradicciones, ya que mejorando uno, empeora el otro. En la figura 1 se presenta una parte de la matriz de contradicciones que será objeto de modificación en el presente artículo, resaltando los parámetros potencia y resistencia. Según la matriz clásica de TRIZ los principios de ingeniería para resolver la contradicción potencia - resistencia son: 26, 10, 28, 35.

Tabla 1. Matriz Clásica de TRIZ. Adaptada de (Domb et al., 1998)

<i>Parámetro que empeora</i> →									
<i>Parámetro que mejora</i> ↓		<i>Potencia</i>	<i>Pérdida de energía</i>	<i>Pérdida de sustancia</i>	<i>Pérdida de información</i>	<i>Pérdida de tiempo</i>	<i>Cantidad de sustancia</i>	<i>Fiabilidad</i>	<i>Precisión de la medición</i>
		21	22	23	24	25	26	27	28
10	Fuerza(intensidad)	19,35, 18,37	14,15	8,35, 40,5		10,37, 36	14,29, 18,36	3,35, 13,21	35,10, 23,24
11	Tensión o Presión	10,35, 14	2,36, 25	10,36, 3,37		37,36, 4	10,14, 36	10,13, 19,35	6,28, 25
12	Forma	4,6,2	14	35,29, 3,5		14,10, 34,17	36,22	10,40, 16	28,32, 1
13	Estabilidad de la composición del objeto	32,35, 27,31	14,2, 39,6	2,14, 30,40		35,27	15,32, 35		13
14	<b>Resistencia</b>	<b>10,26, 35,28</b>	35	35,28, 31,40		29,3, 28,10	29,10, 27	11,3	3,27, 16
15	Duración de la acción del objeto móvil	19,10, 35,38		28,27, 3,18	10	20,10, 28,18	3,35, 10,40	11,2, 13	3
16	Duración de la acción del objeto estacionario	16		27,16, 18,38	10	28,20, 10,16	3,35, 31	34,27, 6,40	10,26, 24
17	Temperatura	2,14, 17,25	21,17, 35,38	21,36, 29,31		35,28, 21,18	3,17, 30,39	19,35, 3,10	32,19, 24

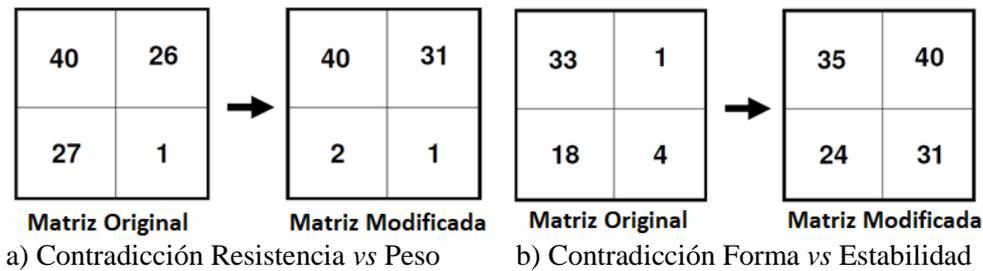
### 2.3 Modificaciones realizadas a la matriz original.

Mann (2002), después de haber realizado un análisis exhaustivo en bases de datos y de procesar 130 patentes de invención llegó a varias conclusiones interesantes, destacándose, entre ellas, las siguientes:

- La matriz clásica de contradicciones de TRIZ fue ensamblada de patentes mecánicas hace muchos años atrás. Solo tiene un 48% de tasa de éxito, a la actualidad, lo cual es una tasa baja, sin embargo, todavía se puede usar.
- Se deben introducir más parámetros en la matriz, con la perspectiva de actualizarla. La matriz clásica debe ser interpretada como que usando principios de contradicción se resuelven algunos tipos de problemas. Si la matriz recomienda 3 o 4 principios, esto no impide poder usar los otros restantes.
- Las recomendaciones de los principios de la matriz, deben ser usadas como un punto de partida, más que como una solución definitiva.

Mann y Dewulf (2003) hicieron un análisis de la matriz de contradicciones, centrándose esencialmente en las contradicciones resistencia - peso y forma - estabilidad. En ambos casos concluyeron que, para un buen desempeño, la matriz debía ser modificada. En el

caso de resistencia - peso, la matriz original contempla los principios 1, 26, 27 y 40; y la matriz modificada los principios 1, 2, 31, 40, es decir estos autores cambiaron totalmente los principios de ingeniería para la solución del problema, manteniendo solamente dos de ellos, eliminando dos principios originales e incluyendo nuevos principios (ver figura 1a). En el caso de forma - estabilidad estos autores modifican prácticamente todos los Principios de Ingeniería a ser aplicados. La matriz original contempla los principios 1, 4, 18 y 33; y en la matriz modificada los principios 24, 31, 35 y 40, es decir cambiaron totalmente los principios de ingeniería para la solución del problema (ver figura 1b).



**Figura 1.** Matrices originales y modificadas, (Mann y Dewulf, 2003)

#### 2.4 Modificaciones propuestas a la matriz de TRIZ para el diseño de transmisiones por engranajes

Investigaciones recientes relacionadas con los engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores (Kapelevich y Shekhtman, 2017), han demostrado que los dientes asimétricos tienen mayor resistencia a la flexión que los dientes simétricos y por tanto, se indujo que la asimetría es un principio de ingeniería adecuado para resolver la contradicción potencia - resistencia no contemplado en la matriz de contradicciones. Investigando en la literatura, se pudo constatar que otro parámetro que puede aumentar considerablemente la resistencia de los engranajes a cualquier falla y permitir un aumento considerable de la potencia es el uso de la corrección del dentado. Varias investigaciones desarrolladas en diferentes países lo demuestran (Balambica et al., 2015), (Chernets et al., 2016). Sin embargo, en la matriz de contradicciones, este es un principio de ingeniería solo usable para transmisiones por engranajes que puede ser incluido. Por otra parte, hay varios autores investigando la combinación de la asimetría con las correcciones para aumentar la resistencia de las transmisiones por engranaje (Abdullah y Jweeg, 2012), (Moya y Goytisolo, 2014).

Con el desarrollo de los materiales compuestos, y el aumento de sus propiedades mecánicas, estos materiales están siendo muy usados en la actualidad en transmisiones por engranajes (Pogačnik y Tavčar, 2015), además se ha analizado la ventaja de combinar la asimetría con el uso de materiales poliméricos (Moya et al., 2010), (Singh et al., 2018). Del estudio de las referencias anteriores se pueden extraer las hipótesis siguientes para el caso del diseño de transmisiones por engranajes:

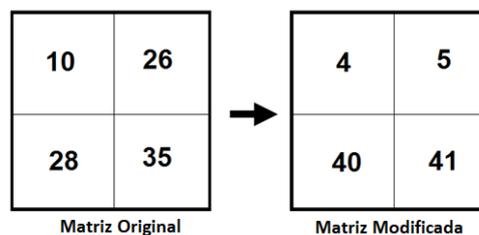
**Problema Específico:** En los engranajes rectos la falla por fatiga por flexión en el pie del diente es una de las principales, a mayor potencia se produce mayor fuerza tangencial y el esfuerzo aumenta; por lo que se desea aumentar la resistencia a

determinada potencia, sin embargo, al aumentar la potencia, la resistencia disminuye; entonces, en el caso particular del diseño de transmisiones por engranaje presenta la siguiente contradicción: **Potencia - resistencia; parámetro que mejora: potencia - parámetro que empeora: resistencia**. En el caso de los parámetros potencia - resistencia, particularmente en la aplicación de esta contradicción al diseño de transmisiones por engranajes, la matriz de contradicciones requiere de transformaciones. Los principios originales en la contradicción potencia - resistencia son: **Principio 10. Acción anticipada**. (No se corresponde con la naturaleza del problema), **Principio 26. Copiado**. (No se corresponde con la naturaleza del problema), **Principio 28. Remplazar un sistema mecánico con otro sistema**. (No se corresponde con la naturaleza del problema), **Principio 35. Transformación de propiedades**. (No se corresponde con la naturaleza del problema)

Hay cuatro principios de ingeniería que pueden y deben analizarse en el diseño de estas transmisiones: **El principio de asimetría** (principio 4 de la metodología TRIZ, que no está originalmente establecido para la contradicción potencia - resistencia), **el principio de materiales compuestos** (principio 40, que no está originalmente establecido para la contradicción potencia - resistencia), **el nuevo principio 41 de “correcciones del dentado”** (no contemplado dentro de los principios de ingeniería originales) y **el principio de la combinación** (principio 5, que no está originalmente establecido para la contradicción resistencia - potencia).

#### 2.4.1 Modificación de la matriz para resolver el problema

Para el caso particular de las transmisiones por engranajes, la matriz de contradicciones puede ser modificada como se muestra en la figura 2. De la misma se aprecia que para el caso general de la contradicción resistencia - potencia y su aplicación particular a las transmisiones por engranajes, no se conservan ninguno de los principios originales.



**Figura 2.** Contradicción resistencia vs potencia en la matriz

Para evaluar los cuatro principios incorporados mostrados en la figura 2 y demostrar la validez de la matriz, se utilizó como ejemplo una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos con las siguientes características: Potencia de 4,4 kW, velocidad de giro del piñón de 1400 rpm, con módulo 4 mm y 25 dientes, ángulo de presión de 20 grados, diámetro del eje 20 mm, material: nylon 6/10, ancho de cara 48 mm, valores estos comunes de una transmisión por engranajes plásticos, (Faires, 1999). Para tener en cuenta la asimetría se introdujo el concepto de coeficiente de asimetría, que no es más que la relación entre el ángulo del perfil en la zona de respaldo, dividido entre el ángulo de ataque, es decir (Cárdenas y col., 2011):

$$C = \frac{\alpha_{resp}}{\alpha_{ataq}} \quad (1)$$

**Donde:**

$\alpha_{resp}$  = ángulo del perfil mayor (°)

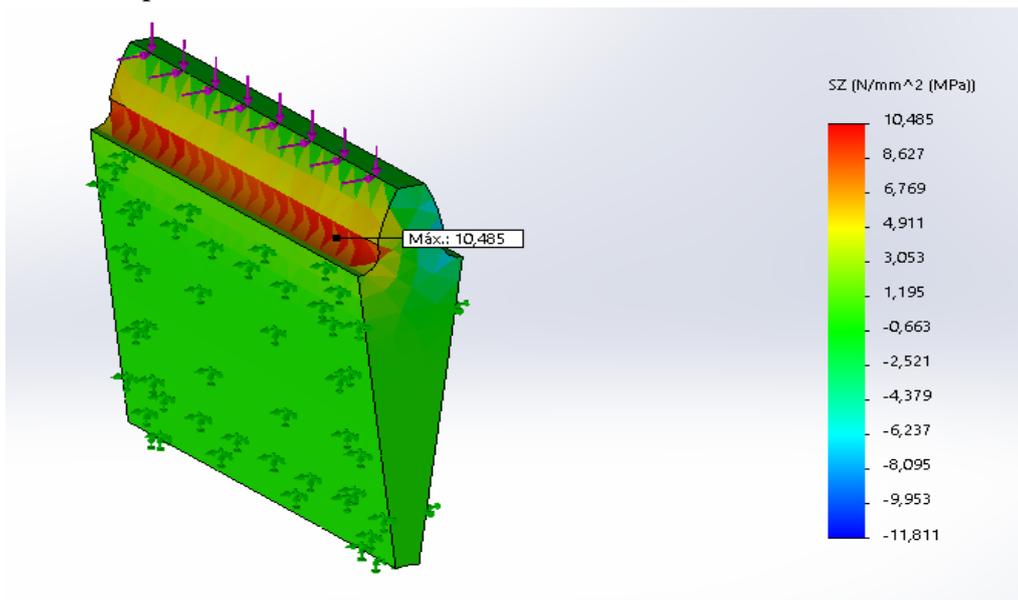
$\alpha_{ataq}$  = ángulo del perfil menor (°)

Para evaluar la influencia de la corrección, la asimetría del diente y la combinación de ambas en la resistencia a la flexión de los engranajes plásticos se realizó un experimento usando el método de los elementos finitos con los datos anteriores. Se analizó como variaban las tensiones en el pie del diente para diferentes valores de corrección y de asimetría del perfil. El ángulo de ataque del perfil se mantuvo constante en 20 grados, y el ángulo de respaldo se varió de 20 a 27 grados. Para cada combinación de ángulo de ataque con ángulo de respaldo se evaluó el comportamiento de la corrección, introduciendo coeficientes de corrección que variaron de  $X=0$  hasta  $X=1,25$ . Con los valores de la potencia, las dimensiones geométricas del engranaje y el número de revoluciones y aplicando las fórmulas clásicas para los engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores, (Faires, 1999), se determinaron la fuerza tangencial  $F_t$  y la fuerza radial  $F_r$  a usar en el experimento:  $F_t = 600,24$  N y  $F_r = 218,47$  N.

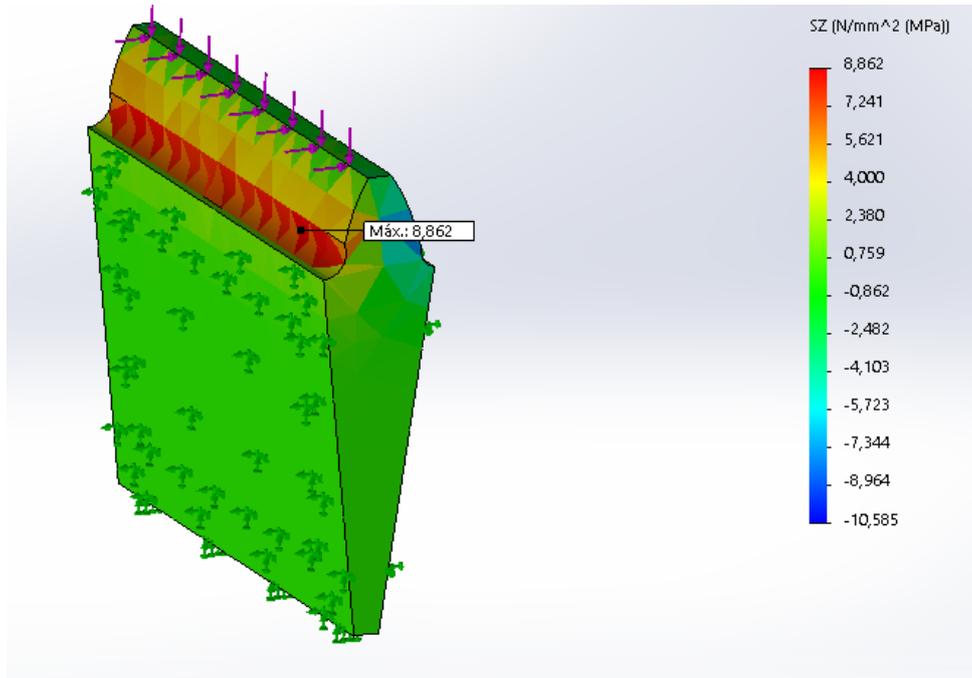
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Evaluación de la asimetría y del coeficiente de corrección como principios para resolver la contradicción Potencia-Resistencia

En la figura 3 se muestra como varían las tensiones normales en el eje z ( $\sigma_z$ ) en MPa a lo largo del pie del diente del piñón con un ángulo del perfil de 20 grados y sin corrección. En la figura 4 se muestra el mismo diente, pero con coeficiente de asimetría de 1,35. Se puede apreciar de ambas figuras, que la asimetría logra una disminución de la tensión en el pie del diente.



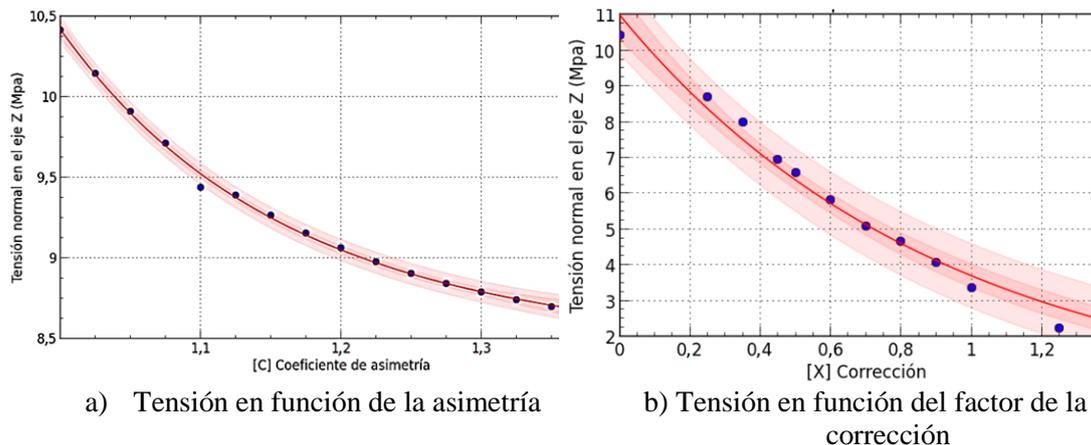
**Figura 3.** Tensiones normales de tracción en el eje Z (eje vertical) en la zona más débil del pie del diente para ángulo del perfil del diente de 20° (dientes simétricos)



**Figura 4.** Tensiones normales de tracción en el eje Z (eje vertical) en la zona más débil del pie del diente para ángulo del perfil del diente de 20° (diente asimétrico)

En la Figura 5a, se muestra como varía la tensión normal en el eje Z en función del coeficiente de asimetría. Esto demuestra que la asimetría es un principio válido para resolver la contradicción potencia-resistencia en las transmisiones por engranajes.

Para la determinación de la tensión en el pie del diente en función de la corrección, se tomó el coeficiente de asimetría igual a 1, y se varió el coeficiente de corrección desde 0 hasta 1,25. En la figura 5b se muestra la variación de las tensiones en el eje z calculadas por el método de los elementos finitos en el pie del diente para estas condiciones. El uso de correcciones tiene una gran influencia en reducir los esfuerzos en la base del diente, según muestra en la figura 5b.

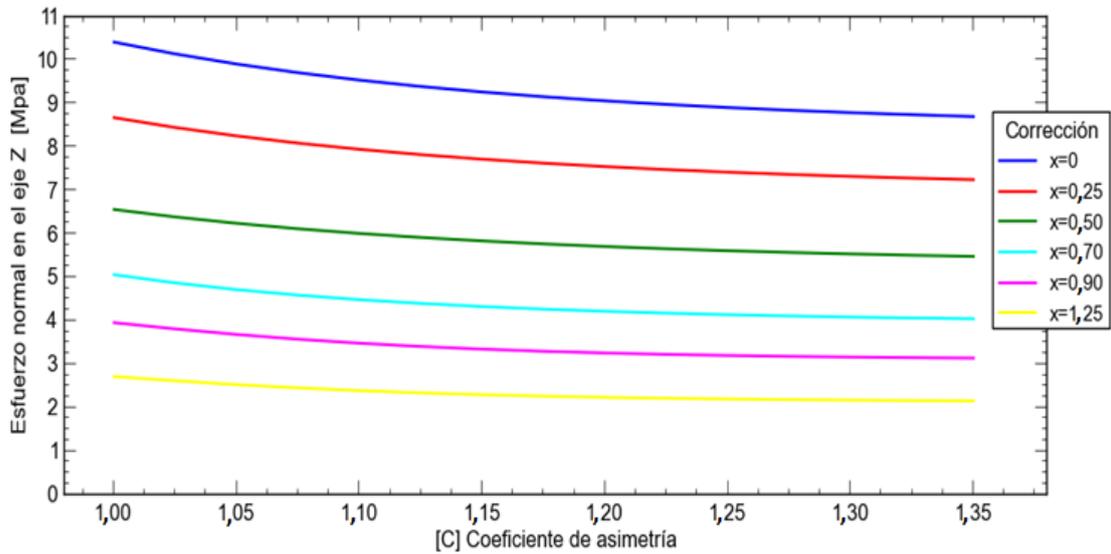


**Figura 5.** Disminución de las tensiones en función de la asimetría y la corrección.

### 3.3 Evaluación de la influencia del coeficiente de asimetría y la corrección en la disminución de la tensión en el pie del diente (principio de combinación)

En la figura 6 se muestra como varían las tensiones normales en el eje z en función del coeficiente de asimetría y de la corrección para un ángulo de ataque de 20°. Esta figura

se obtuvo de la determinación de las tensiones variando el coeficiente de asimetría y la corrección usando el método de los elementos finitos. Como puede apreciarse, combinando estos dos principios: la asimetría y la corrección, se puede aumentar considerablemente la resistencia a la fractura de las transmisiones por engranajes.



**Figura 6.** Variación de las tensiones normales en el pie del diente eje Z (vertical) en función del coeficiente de asimetría y de la corrección para un ángulo del perfil del diente en la zona de ataque de 20°

#### 4. CONCLUSIONES

1. Se modificó la matriz de contradicciones de la TRIZ para resolver la contradicción potencia-resistencia en el diseño de engranajes, variando los principios de ingeniería previamente establecidos para esta contradicción.
2. Se establecieron cuatro nuevos principios para resolver y solucionar la misma. Los principios que se deben usar para resolver la contradicción potencia - resistencia en las transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos son: principio 4: Asimetría, principio 40: Materiales Compuestos, principio 5: Combinación, principio 41 (nuevo principio): Corrección de dentado.
3. Usando el método de los elementos finitos se demostró que efectivamente, esos cuatro principios de ingeniería resolvieron la contradicción potencia – resistencia cuando se aplican a transmisiones por engranaje.

#### REFERENCIAS

- Abdullah, M. Q., & Jweeg, M. J. (2012). Simulation of Generation Process for Asymmetric Involute Gear Tooth Shape with and without Profile Correction. *Innovative Systems Design and Engineering*, Vol.3, No. 6, pp. 53-68.
- Aguilar, J.A., Valencia, M.V., Martínez, M.F., Quiceno, C.A., y Sandoval, C.M., Uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos (TRIZ) en el análisis de productos de apoyo a la movilidad para detectar oportunidades de innovación., *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 14, No. 1, 2013, pp. 137-151.
- Altshuller, G., 40 principios: TRIZ keys to innovation., Technical Innovation Center, INC Amazon, Vol. 1, 2002, pp. 1-141.
- Balambica, M.V., Hussain, J.H., & Jayakumar, M.P., Analysis of an profile corrected

- sintered spur gear tooth., *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, Vol. 2, No. 2, 2015, pp. 207-211.
- Cárdenas, J., Moya, J., y Hernández, D., Determinación de los factores geométricos para el cálculo a flexión de los engranajes cilíndricos de dientes rectos asimétricos con perfil de evolvente y trocoide., *Ciencia e Ingeniería*, Vol. 32, No. 3, 2011, pp. 151-162.
- Chernets, M., Kielbiński, J., & Chernets, J., A study on the impact of teeth meshing conditions and profile correction on the carrying capacity, wear, and life of a cylindrical gear., *Tribologia*, Vol. 1, No. 2, 2016, pp. 25-43.
- Domb, E., Miller, J., & MacGran, E., The 39 features of Altshuller's contradiction matrix., *The TRIZ Journal*, Vol. 11, No. 11, 1998, pp. 10-12.
- Domb, E.R., *Global Innovation Science Handbook*, Chapter 24-TRIZ: Theory of Solving Inventive Problems: Theory of Solving Inventive Problems: McGraw Hill Professional, Vol. 1, 2014, pp. 1-896.
- Faires, V.M., *Diseño de elementos de máquinas*, Vol 1. Editorial Limusa, 1999, pp-465-520.
- Ishak, N., Sivakumar, D., & Mansor, M., The application of TRIZ on natural fibre metal laminate to reduce the weight of the car front hood., *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 40, No. 2, 2018, pp.1-12.
- Kapelevich, A.L., & Shekhtman, Y.V., Analysis and optimization of contact ratio of asymmetric gears., *Gear Technology*, Vol. 2, No. 2, 2017, pp. 66-71.
- Mann, D., The Space Between 'Generic' and 'Specific' Problem Solutions., *The TRIZ Journal*, Vol. 6, No. 18, 2001, pp. 15-25.
- Mann, D., Assessing the accuracy of the contradiction matrix for recent mechanical inventions., *The TRIZ Journal*, Vol. 4, No. 1, 2002, pp. 1-9.
- Mann, D., & Dewulf, S., Updating the contradiction matrix., *TRIZCON2003*, 5th Annual International Conference of Altshuller Institute for TRIZ Studies Philadelphia, March 16-18, 2003.
- Martinez, F., & Sariego, P., Alcances y aplicaciones en la fase de diseño conceptual de TRIZ, teoría de resolución acelerada de problemas del ámbito mecánico en Chile., 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú, 23-25 de Octubre de 2007.
- Moya, J., Machado, A., Velásquez, J., & Goytisoló, R., A study in asymmetric plastic spur gears., *Gear Solutions Magazine*, Vol. 8, No. 84, 2010, pp. 34-41.
- Moya, J.L., y Goytisoló, R.A., Influencia de los coeficientes de fricción, de corrección del dentado y de asimetría del diente en las tensiones en el pie de los engranajes cilíndricos de dientes rectos asimétricos., VIII Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica COMEC 2014, Santa Clara, Cuba, Noviembre, 2014, pp. 1-12.
- Nassar, N., & AbouRizk, S., Introduction to Techniques for Resolving Project Performance Contradictions., *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 142, No. 8, 2016, pp. 1-12.
- Orloff, M.A., *ABC-TRIZ: Introduction to Creative Design Thinking with Modern TRIZ Modeling*, Vol. 1, Springer., 2016, pp. 7-30.
- Orloff, M.A., *Toward the Modern TRIZ*. In *ABC-TRIZ*, Vol. 1, Springer, 2017, pp. 19-30.

- Pogačnik, A., & Tavčar, J., An accelerated multilevel test and design procedure for polymer gears., *Materials & Design*, Vol. 65, No. 1, 2015, pp. 961-973.
- Rahim, Z.A., Yusof, S.M., Bakar, N.A., & Mohamad, W.M., The Application of Computational Thinking and TRIZ Methodology in Patent Innovation Analytics., *International Conference of Reliable Information and Communication Technology*, Kuala Lumpur, Malasia, 2018 pp. 793-802.
- Singh, A.K., Siddhartha, & Singh, P.K., Polymer spur gears behaviors under different loading conditions: A review., *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J., Journal of Engineering Tribology*, Vol. 232, No. 2, 2018, pp. 210-228.
- Swee, N.S., Toh, G.G., Yip, M.W., Keong, C.S., & Tai, S.C., Applying Triz for Production Quality Improvement., *MATEC Web of Conferences*, 3rd International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering (ICMME 2016), Shanghai, China, October 21-23, 2016, pp. 1-4.
- Weng, Y., & Wu, D.Y., Application of the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) to Creative Engineering Design for the Motor Cooling System of an Electric Vehicle., *International Journal of Systematic Innovation*, Vol. 5, No. 1, 2018, pp. 214-228.
- Yanwei, Z., Jiongjiong, L., Shedong, R., Lu, H., & Fangzhi, G.,A., Conflict Analysis and Resolution Method Based on Integrating the Extension and TRIZ Methods., *In Sustainable Design and Manufacturing*, Springer, Vol. 1, 2016, pp.15-25.