



Design of cylindrical spur gears using TRIZ

Jorge L Moya Rodríguez, Angel S. Machado, Reiner. Robaina
Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Las Villas.
Carretera a Camajuaní, Km. 3 1/2, CP 54830. Santa. Clara. Villa Clara. Cuba.
*jorgemoyar@gmail.com

ABSTRACT

TRIZ is a methodology, tool set, knowledge base, and model-based technology for generating innovative ideas and solutions for problem solving. TRIZ provides tools and methods for use in problem formulation, system analysis, failure analysis, and patterns of system evolution (both 'as-is' and 'could be'). TRIZ, in contrast to techniques such as brainstorming (which is based on random idea generation), aims to create an algorithmic approach to the invention of new systems, and the refinement of old systems. Some TRIZ is in the public domain. Some TRIZ resides in knowledge bases held by commercial consulting organizations. A complete and open TRIZ development process is not yet evident. Various camps vie for control of TRIZ and interpretation of its findings and applications. In this paper application of TRIZ principles to spur gear design is showed for first time.

Key words: Spur gears, TRIZ.

Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos usando TRIZ

RESUMEN

TRIZ es una metodología, un sistema de herramientas, una base de conocimiento, y una tecnología basada en modelos para generar ideas y las soluciones innovadoras para la solución de problemas. TRIZ proporciona las herramientas y los métodos a usar en la formulación de problemas, el análisis de sistemas, el análisis de fallas, y patrones de evolución de los sistemas (tanto de su situación como de cómo podría ser.. TRIZ, en contraste con técnicas tales como las tormentas de ideas (que se basan en la generación al azar de la idea), apunta a crear un acercamiento algorítmico a la invención de nuevos sistemas, y el refinamiento de viejos sistemas. Algunas teorías TRIZ están en el dominio público, otras residen en las bases de conocimiento de organizaciones de asesores comerciales. Un proceso de desarrollo completo y abierto de TRIZ no es todavía evidente y determinante. Varios campos compiten para el control de TRIZ y la interpretación de sus resultados y usos. En este artículo se muestra por vez primera la aplicación de los principios TRIZ al diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos.

Palabras claves: Engranajes, TRIZ.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los sistemas de innovación tecnológica más poderosos y sistematizados actuales, se encuentra el llamado "Método TRIZ", acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch).

TRIZ es un método probado para potenciar la innovación y se ha aplicado con éxito en diferentes ramas de la ciencia. Entre las importantes empresas que han adoptado la metodología en sus productos o procesos, se pueden mencionar: Jet Propulsion Laboratories, BMW, Siemens, Intel, Ericsson, Texas Instruments, Bosch, Toyota, Philips, LG Electronics, entre otras muchas [1].

En el marco de las aplicaciones TRIZ a la ingeniería, no se tiene referencia de trabajos enfocados a transmisiones por engranajes. Una transmisión por engranajes exige un fuerte compromiso entre, los factores geométricos y los que tienen en cuenta la influencia de los concentradores de tensión para

garantizar la capacidad de carga portante, régimen de explotación y vida útil deseada.

Hasta inicios de 1946 se pensaba que el proceso mental, que lleva a producir un invento o una innovación tecnológica, era algo fortuito que dependía del estado mental del inventor. Aún en la actualidad pocas personas, incluyendo a los psicólogos y estudiosos del proceso creativo e innovador, saben que existe un método sistemático para producir inventos llamado TRIZ, acrónimo, del idioma ruso, de las palabras: *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach*. La misma que se ha traducido a varios idiomas como: The Russian Theory of Inventive Problem Solving, en Inglés y en español: Teoría Innovadora para la Solución de Problemas [2, 3].

El ingeniero ruso de 22 años Genrich Altshuller, que por entonces era un examinador de patentes de la armada Soviética, tamizó 1.500.000 patentes, quedándose con 200.000 de ellas tratando de buscar solo los problemas inventivos y la forma en que fueron resueltos. De estas solo 40.000 patentes fueron consideradas por inventivas en el año 1990 [4]. Ello le llevó a

catalogar una serie de pasos necesarios, presentes en la mayoría de invenciones y que podían aplicarse a cualquier nueva invención que se intentara acometer [5].

Se trata de una metodología de resolución de problemas basada en un acercamiento lógico y sistemático. TRIZ puede ser utilizado como un instrumento intelectual poderoso para solucionar problemas técnicos y tecnológicos, sencillos y difíciles, más rápidamente y con mejores resultados [6].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES

a) Las contradicciones en la Metodología TRIZ

Las contradicciones se consideran el origen de todo problema técnico. Una contradicción surge cuando dos necesidades de un producto o proceso están en conflicto y sin embargo están asociadas para alcanzar un objetivo [7].

b) El concepto de idealidad

Un concepto fundamental es el de *idealidad* que según el enfoque de TRIZ es la tendencia natural de todos los sistemas técnicos de acuerdo a un proceso de evolución creciente y se representa a menudo como la suma de todas las funciones útiles de un sistema dividido por la suma de todos sus efectos dañinos o nocivos [8]. Es decir:

$$I = \Sigma ED / (\Sigma EI + \Sigma C) \quad (1)$$

Donde:

I = Sistema tecnológico Ideal.

ΣED = Sumatoria de los efectos deseados.

ΣEI = Sumatoria de los efectos indeseados.

ΣC = Sumatoria de los costos del sistema tecnológico.

Todos los tipos de costos: los efectos indeseados, los desechos, los elementos contaminantes, son considerados como efectos indeseables. El costo del sistema incluye el espacio físico utilizado, el ruido provocado, la energía consumida, el tiempo implicado, los desechos y los retrabajos, en fin, todo lo que resulte de una calidad deficiente. Todas las modificaciones aceptadas buscan la idealidad, o sea, aumentar el numerador y/o reducir el denominador de la ecuación anterior [9].

II.2 APROXIMACIÓN A LA METODOLOGÍA TRIZ

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 [10].

La problemática se potencia cuando se examinan herramientas y/o métodos de apoyo al diseño, un análisis detallado indica que de todos los ámbitos del diseño, 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 hasta que surgiera con fuerza la alternativa del Método TRIZ. Es básicamente una metodología estructurada para la innovación, que examina los problemas de inventiva en forma metódica, explorando espacios de soluciones para generar ideas creativas. La figura 1 ilustra la fuerza metódica de TRIZ, indicando que el problema inicial pasa por una serie de etapas hasta que es posible formular el problema correctamente, identificar la contradicción que ha de resolverse correctamente para resolver e implantar la solución [11].

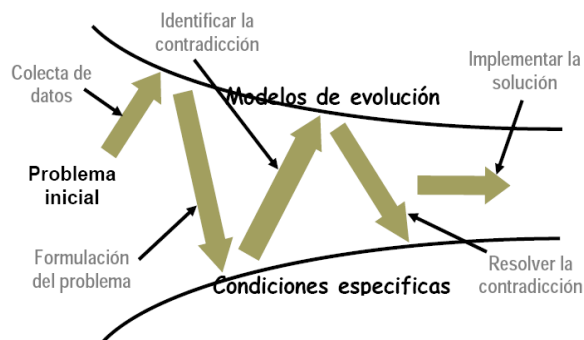


Figura 1. Parámetros conceptuales de TRIZ [11].

Todos los modelos de diseño, las metodologías e incluso las filosofías de diseño ven en TRIZ, lo que han venido a definirse como “una actividad”, dominios de interacción entre el usuario y el objeto”. La gran cuestión es el corazón del proceso de diseño, esto es el proceso de creación, de inventiva, de creación de una cosa nueva, que se denomina *diseño conceptual* [11]. Autores como Rantanen y Domb [12] presentan los pasos de la metodología TRIZ, como se muestra en la figura 2.

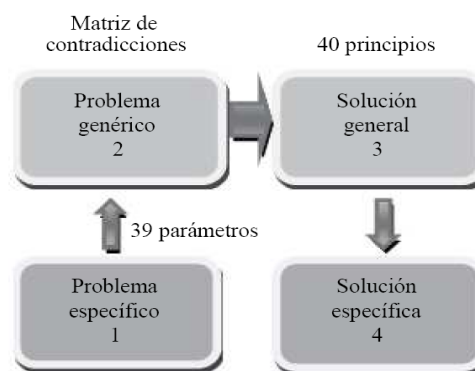


Figura.2. Esquema de solución de problemas usando TRIZ [13].

Dónde:

1. Problema particular o específico. Este problema específico se debe plantear en un problema genérico, es decir, se deben usar los 39 parámetros técnicos de TRIZ. Todo sistema puede plantearse como un problema genérico y este problema tendrá una contradicción particular.

2. Problema genérico: En esta etapa, vamos a lo que en TRIZ se conoce como la Matriz de Contradicciones, cuya función es mostrar cómo otros problemas generales análogos al que planteamos han sido resueltos por medio de la historia del conocimiento.

3. Solución general: Son conocidas como Principios de Inventiva.

4. Solución específica: Finalmente, al usar estas soluciones generales, tratamos de solucionar nuestro problema específico. Este tipo de procedimiento nos permite romper con la inercia psicológica y, de esta manera, se logran soluciones innovadoras a problemas concretos.

II.3 PRINCIPIOS INVENTIVOS Y CARACTERÍSTICAS O PARÁMETROS DE LOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS QUE PROPONE ALTSHULLER.

Altshuller desarrolló los denominados “40 principios de invención”, que se especifican en la tabla 1.

Tabla 1.1- Principios de invención[10].

1. Segmentación	11. Precaución previa	21. Pasar rápidamente	31. Uso de Materiales porosos
2. Extracción	12. Equipotencialidad	22. Convertir el daño en beneficio.	32. Cambios de color
3. Calidad Local	13. Inversión	23. Retroalimentación	33. Homogeneidad
4. Asimetría	14. Esfericidad	24. Mediador	34. Rechazo y regeneración de partes
5. Combinación	15. Dinamicidad.	25. Autoservicio	35. Transformación de estados químicos o físicos.
6. Universalidad	16. Acciones parciales, sobre puestas o excesivas	26. Copiar	36. Transiciones de Fase
7. Anidación	17. Mover a una nueva dimensión.	27. Vida corta barata.	37. Expansión Térmica
8. Contrapeso	18. Vibraciones mecánicas	28. Reemplazar un sistemas mecánico	38. Oxidación acelerada
9. Acción contraria anticipada	19. Acción Periódica	29. Uso de sistemas hidráulicos o neumáticos.	39. Ambiente inerte
10. Acción anticipada	20. Continuidad de la acción útil	30. Membranas flexibles o películas delgadas	40. Materiales compuestos

A continuación en la tabla 2 se muestra los 39 parámetros o características que tienen los sistemas tecnológicos propuestos por Altshuller.

Tabla.2. Parámetros o características [10].

1. Peso de un objeto móvil	11. Tensión, presión	21. Potencia	31. Efectos de daños colaterales.
2. Peso de un objeto estacionario	12. Forma	22. Pérdida de energía	32. Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación
3. Longitud de un objeto móvil	13. Estabilidad del objeto.	23. Pérdida de materia	33. Conveniencia de uso.
4. Longitud de un objeto estacionario	14. Resistencia	24. Pérdida de información	34. Facilidad de reparación
5. Área de un objeto móvil	15. Durabilidad de un objeto móvil	25. Pérdida de tiempo	35. Adaptabilidad
6. Área de un objeto estacionario	16. Durabilidad de un objeto estacionario	26. Cantidad de Sustancia o de materia	36. Complejidad del dispositivo u objeto
7. Volumen de un objeto móvil.	17. Temperatura	27. Confiabilidad	37. Complejidad de control
8. Volumen de un objeto estacionario	18. Brillantez	28. Precisión en la medida	38. Nivel de automatización
9. Velocidad	19. Energía gastada por el objeto móvil.	29. Precisión en la manufactura	39. Productividad
10. Fuerza	20. Energía gastada por el objeto estacionario.	30. Daño externo que afecta a un objeto	

II.4 MATRIZ DE CONTRADICCIONES

La Matriz de Contradicciones es el lugar donde se contrastan las características o parámetros del sistema tecnológico 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. La matriz de contradicciones muestra los principios que han de ser empleado en la solución de la contradicción.

II.5 PASOS QUE COMPRENDE EL USO DE LA MATRIZ DE ALTSHULLER [11]:

1. Ante un determinado problema de diseño se ha de identificar los elementos del mismo con dos parámetros o características.

- Posteriormente se identifica la correspondencia entre los dos parámetros o características de diseño citadas con alguno de los 39 parámetros generalizados de Altshuller.
- Se buscan los principios de inventiva que permitan resolver el conflicto de diseño usando la matriz. Existen herramientas desarrolladas en Excel en que los parámetros generales tienen números asociados con ellos, se ha de buscar el correspondiente corte entre las filas y columnas que poseen esos números asociados.
- Los números que aparecen en la celda correspondiente, corresponden a principios de inventiva.
- Se debe analizar cada uno de los principios de inventiva resultantes y establecer si están en correspondencia con la naturaleza del problema.

Se ha de tratar de adaptar los principios de inventiva correspondientes a posibles soluciones del problema de diseño.

III. RESULTADOS

III.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN TRIZ AL DISEÑO DE TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS.

Se desea diseñar una transmisión abierta de engranajes cilíndricos de dientes rectos, cuyas exigencias técnicas de diseño se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Exigencias técnicas de diseño.

Relación de transmisión, $U_{t.e.}$	2,7778 ul
Potencia de entrada, P	5 kW
Velocidad de entrada, $n_{entrada}$	150 rpm
Eficiencia de la transmisión, $\eta_{t.e.}$	0,97
Vida útil deseada	10 000 hr
Material disponible	GOST 38ChA
Posible Dureza	45 – 50 HRC
Carga Ligera:	120% Sobrecarga
Tratamiento térmico	T.C.A.F
Ruedas apoyadas simétricamente	
Se desea que transmisión sea conservadoramente lo menos voluminosa.	

III.2 PROPUESTA DE DISEÑO SIGUIENDO LOS PASOS DE LA METODOLOGÍA TRIZ

III.2.1 PROBLEMA PARTICULAR O ESPECÍFICO

En las transmisiones cilíndricas de dientes rectos, resulta crítico el comportamiento del diente en la resistencia a la fatiga por flexión. Por lo que se requiere encontrar cuales son las condiciones geométricas que garantizan el mejor desempeño de este. En el caso de las transmisiones abiertas que se desea garantizar la máxima resistencia a la flexión, se ha demostrado, que haciendo cambios en la geometría del diente puede variarse el comportamiento de la transmisión; sin embargo se deteriora el factor de recubrimiento, el cual influye notablemente en la potencia a transmitir.

Parámetro que se desea mejorar: Resistencia a la fatiga por flexión, el cual es uno de los criterios más importantes

a considerar en el diseño de engranajes, también conocido como fallo por rotura en la base del diente. Se corresponde con el parámetro número 14 (Resistencia).

Parámetro que se deteriora: Factor de recubrimiento.

Este parámetro es de gran importancia en las transmisiones por engranajes, dando una idea de los pares de dientes que se encuentran simultáneamente en contacto a lo largo de la línea práctica de engranajes.

Mientras más alto sea este valor, más suavemente funcionará la transmisión y más potencia será capaz de transmitir [14]. Se corresponde con el parámetro número 21 (Potencia).

III.2.2 PROBLEMA GENÉRICO.

Selección de los principios de inventiva usando la matriz de contradicciones. A continuación se muestra en la tabla 4, la intersección de los parámetros contradictorios.

Tabla 4. Matriz de contradicciones.

<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">PARÁMETRO QUE EMPEORA</div> <div style="font-size: 2em;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">PARÁMETRO QUE MEJORA</div> <div style="font-size: 2em;">↓</div> </div>	1. Peso del objeto móvil	21. Potencia	39. Capacidad/productividad
1. Peso del objeto móvil	-	12, 36, 18, 31	35, 3, 24, 37
14. Resistencia	1, 8, 40, 15	10, 26, 28, 35	29, 35, 10, 14
39. Capacidad/productividad	35, 26, 24, 37	35, 20, 10	-

La matriz de contradicciones propone los principios de inventiva que según Altshuller deben ser empleados en la solución de la contradicción (10, 26, 28 y 35).

III.2.3 ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS PRINCIPIOS DE INVENTIVA

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. Reemplazar 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)

Luego de un estudio detallado de cada uno de los principios que sugiere la matriz, así como de los restantes propuestos por el profesor Altshuller, no se dispone principios que tenga asociada una definición que permita resolver la contradicción del problema planteado. Teniendo en cuenta que las transmisiones por engranajes presentan un alto grado de exigencias y especificaciones de diseño, propias de esta metodología para dar respuestas a las diferentes exigencias técnicas que se presentan, se propone incorporar el siguiente principio de inventiva:

Variación de la geometría:

Definición: Reacondicionar la forma geométrica de un objeto, sistema tecnológico o parte de este, en función de su comportamiento.

Argumentación: Está demostrado que en el diseño mecánico, muchas veces es la variación de la geometría de un objeto o sistema tecnológico, la que da solución a disímiles problemas de ingeniería, puesto que en muchas ocasiones de esta depende el comportamiento.

Como ejemplo se puede mencionar el cambio en la aerodinámica del fuselaje de los aviones, en la carrocería de los automóviles, trenes y todos los medios de transportes, el cual influye notablemente en la resistencia al aire. Los grandes depósitos de combustibles con formas de domos geodésicos, cilíndricos con casquetes esféricos, en los cuales a de garantizarse la máxima resistencia al almacenar grandes volúmenes.

La tendencia en las cámaras de combustión de los motores de combustión interna a ser esféricas y así garantizar la menor superficie de contacto para que la mayor cantidad de energía sea transformada en trabajo.

En el diseño de perfiles para la carpintería de aluminio donde la geometría define la resistencia y rigidez con el menor costo por concepto de material.

Se puede afirmar que la geometría juega un papel importante en la resistencia, costos, fiabilidad, durabilidad, etc de los sistemas tecnológicos. Por lo que el principio de inventiva, **variación de la geometría** el cual responde a la definición antes planteada, se corresponde con muchas de las soluciones en el marco de la ingeniería.

III.2.4 SOLUCIÓN GENERAL

Aplicar el principio de inventiva, **variación de la geometría** y así garantizar la máxima resistencia a la flexión para las exigencias de diseño planteadas.

III.2.5 SOLUCIÓN ESPECÍFICA

Para garantizar la resistencia a la fatiga por flexión, se cambia la geometría del diente mediante el desplazamiento de la herramienta. La esencia del desplazamiento del engranaje

consiste en que, según sea la necesidad del cambio de unas u otras características del mismo, se utilizan distintos sectores de la evolvente de la circunferencia básica dada [15].

El grado de desplazamiento, se determina por los coeficientes de corrección X_1 y X_2 . Con el cambio de la magnitud de éstos, varían las dimensiones relativas de los dientes, puesto que cambia el desplazamiento real de la herramienta, con respecto a la pieza que se elabora [15].

Mediante el desplazamiento, puede aumentarse la capacidad portante de los engranajes [16-18] debido a:

- Engrosamiento del diente cerca de su base.
- Posibilidad de reducir el número de dientes y aumentar respectivamente el módulo.
- Aumento de los radios de curvatura de las superficies de la evolvente.
- Disminución del deslizamiento específico.

III.2.6 CÁLCULO DE RESISTENCIA IMPLEMENTANDO EL PRINCIPIO “VARIACIÓN DE LA GEOMETRÍA”.

Como herramienta de cálculo se utiliza el programa desarrollado por la compañía AUTODESK, denominado Autodesk Inventor Professional 2008.

El mismo cuenta con un módulo de cálculo de engranajes cilíndrico de dientes rectos denominado *Spur Gears Component Generator*, que permite realizar tanto el cálculo geométrico como el chequeo de resistencia por las metodologías ANSI, Bach, Merrit, ISO, DIN y CSN. Para el diseño de la transmisión se selecciona la metodología ISO la cual responde al procedimiento seguido en la norma internacional ISO 6336(Todas las variables están acorde con la norma utilizada).

Parámetros geométricos de diseño:

Selección de los coeficientes de corrección para máxima resistencia a la flexión [18].

Z_1	X_1	Z_2	X_2
18	1,05	50	0,36

La caja de diálogo *Design* figura 3, muestra todos los parámetros del cálculo geométrico.

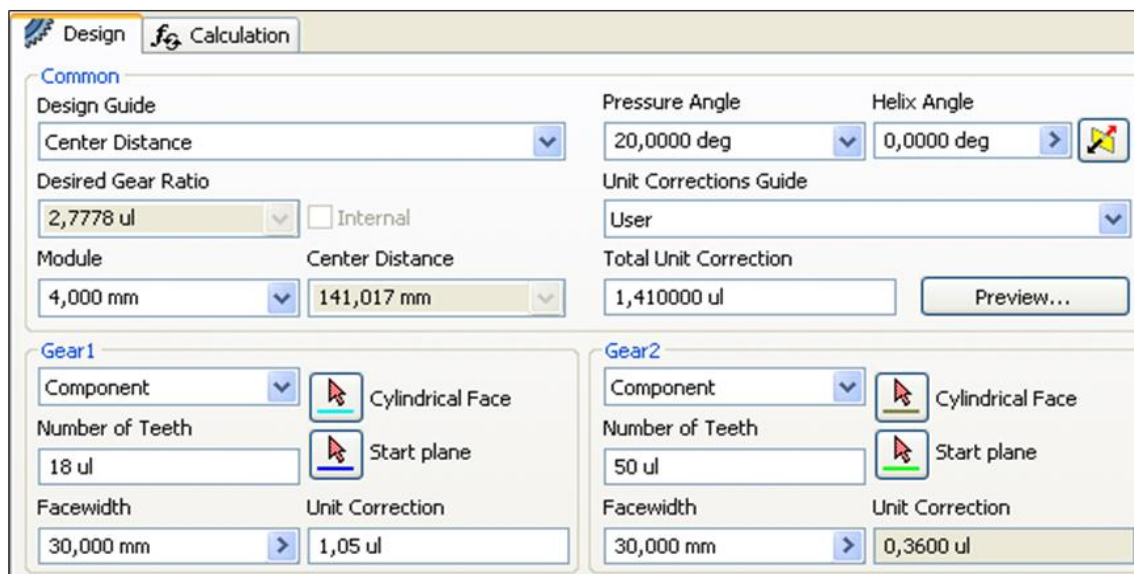


Figura 3. Caja de diálogo Design.

La caja de diálogo *Calculation* figura 4, muestra los valores y parámetros seleccionados para el chequeo de resistencia.

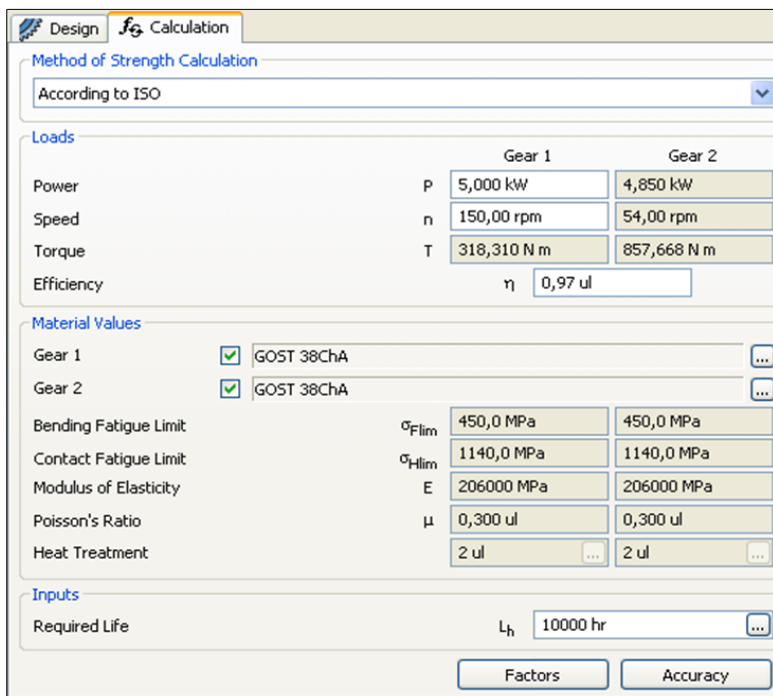


Figura 4. Caja de diálogo Calculation.

Teniendo en cuenta la influencia que tiene cambiar el perfil del diente sobre el factor de recubrimiento se muestran en la tabla 5 los valores obtenidos para las siguientes variantes:

Tabla.5. Valores del factor de recubrimiento.

Variantes		Factor de recubrimiento
No. 1	Transmisión sin desplazamiento, $X\Sigma=0$	1,6422
No. 2	Transmisión con desplazamiento, $X\Sigma= 1,41$	1,2106

Teniendo en cuenta la influencia que tiene cambiar el perfil del diente sobre el factor de recubrimiento se muestran en la tabla 5 los valores obtenidos para las siguientes variantes:

Tabla.5. Valores del factor de recubrimiento.

Variantes		Factor de recubrimiento
No. 1	Transmisión sin desplazamiento, $X\Sigma=0$	1,6422
No. 2	Transmisión con desplazamiento, $X\Sigma=1,41$	1,2106

Nota: Para ambas variante se tuvo en cuenta las mismas condiciones de diseño, tanto para el cálculo geométrico como para el chequeo de resistencia.

III. 2.7 RESULTADOS OBTENIDOS DEL CHEQUEO DE RESISTENCIA

Los valores mínimos de coeficientes de seguridad deseados son:

Esfuerzos de contacto	1
Esfuerzos de Flexión	1,3

A continuación la tabla 6, muestran los resultados obtenidos del cálculo de resistencia para ambas variantes.

Tabla 6. Resultados del cálculo de resistencia para ambas variantes

Variante No. 1		Variante No. 2	
Results		Results	
F_t	8841,941 N	F_t	8527,388 N
F_r	3218,203 N	F_r	3977,489 N
F_a	0,000 N	F_a	0,000 N
F_n	9409,397 N	F_n	9409,397 N
v	0,565 mps	v	0,565 mps
n_{E1}	19066,266 rpm	n_{E1}	16855,122 rpm
Gear 1		Gear 1	
S_H	0,834 ul	S_H	1,005 ul
S_F	1,172 ul	S_F	1,824 ul
S_{Hst}	1,105 ul	S_{Hst}	1,331 ul
S_{Fst}	3,220 ul	S_{Fst}	4,909 ul
Gear 2		Gear 2	
S_H	1,010 ul	S_H	1,116 ul
S_F	1,374 ul	S_F	1,398 ul
S_{Hst}	1,208 ul	S_{Hst}	1,335 ul
S_{Fst}	3,753 ul	S_{Fst}	3,785 ul

Una concepción *ideal* proporciona las funciones requeridas sin que, de hecho, tales funciones existan, puesto que el 'ideal' en este contexto es un enfoque subjetivo que opera como una meta referencial. Así es como evoluciona la calidad y los diseños [19].

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

- Aunque la falla por resistencia que decide la rotura en las transmisiones abiertas no es la picadura, se ha de garantizar la resistencia límite del piñón y corona. Las tensiones de contacto en la variante No.1 sin desplazamiento, para el piñón supera la permisible, lográndose disminuir en un 17% al cambiar la geometría del diente haciendo el desplazamiento de la herramienta, variante No.2.
- Las tensiones a flexión en la variante No.1 sin desplazamiento, para el piñón no supera la permisible; pero no se obtiene el nivel de seguridad requerido para garantizar que no ocurran fallos por este concepto. Sin embargo al modificar la geometría del diente corrigiendo ambos engranes, variante No.2, las tensiones a flexión disminuyen en un 35,8 %.
- En ambas variantes las tensiones a flexión para la corona no supera el valor límite.

Análisis del concepto de idealidad.

	Transmisión sin desplazamiento $X\Sigma=0$	Transmisión con desplazamiento $X\Sigma=1,41$
ΣED	Se desea que la transmisión resista a: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Los esfuerzos de contacto (que no ocurra deterioro por fatiga superficial). ▪ Los esfuerzos en la base del diente (que no ocurra la fractura de los diente por fatiga volumétrica) 	
ΣC	La sumatoria de los costos de fabricación en ambas variantes son similares. Está demostrado que la fabricación de ruedas corregidas, no es más compleja y costosa que las ruedas no corregidas. Se fabrican en el mismo equipo con herramientas normalizadas. La diferencia en su fabricación consiste en que las piezas brutas se hacen con diámetros modificado, y en que se instala la herramienta con cierto desplazamiento en sentido radial. El cálculo técnico de las ruedas tampoco presenta dificultades.	
ΣEI	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El piñón falla a la fatiga por contacto. ▪ El piñón falla a la fatiga por flexión. 	El factor de recubrimiento disminuye en un 26,28%; pero no es inferior al 2,2 coeficiente recomendado para que el movimiento sea suave y continuo.

En la solución dada a este problema se cumple la Ley de Idealidad:

$$I = \Sigma ED / (\Sigma EI + \Sigma C)$$

Al corregir la transmisión se eliminan los efectos indeseados que se presentan sin hacer corrección. Teniendo en cuenta que los costos que intervienen son similares para ambos casos, se demuestra que el sistema evoluciona, cumple mejor su función. En este caso se logra aumentar la capacidad de carga de la transmisión.

V. CONCLUSIONES

- Se diseñó una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos, dando solución a la contradicción técnica haciendo uso de la metodología TRIZ, lo que demuestra la validez de esta teoría para el diseño de engranajes.
- Dado que no se encontró correspondencia entre los principios planteados por Altshuller para resolver el problema, se propone un nuevo principio que puede dar solución a múltiples contradicciones de diseño en este tipo de transmisión. Este principio se denominó variación de la geometría, el cual se aplicó con muy buenos resultados
- TRIZ aplicado al diseño, demuestra ser una metodología paso a paso que concibe de forma rápida la posible solución. Lo cual es muy útil para buscar la mejor solución.

VI. BIBLIOGRAFÍAS

- [1] *Método TRIZ*. 2008 [cited; Available from: <http://www.triz.net/metodoIndustriaDown.html>].
- [2] Kaplan, S., “*An introduction to TRIZ, the Russian Theory of Inventive Problem Solving*”. 1996: Ideation International, Inc.
- [3] Chamorro, C.V., *Metodología TRIZ para la Innovación Tecnológica e Inventiva*. 2008.
- [4] Isoba, O. *TRIZ ó La Teoría de Resolución de los Problemas inventivos*. 2006 [cited; Available from: <http://www.monografias.com/trabajos55/resolucion-problemas-inventivos/resolucion-problemas-inventivos.shtml>].
- [5] “*Método TRIZ*”. 2009 [cited; Available from: <http://www.triz.net/metodo.html>].
- [6] Korner, K. *Fundamentos de TRIZ – Lección 1 2009* [cited; Available from: <http://www.innovacion-sistemica.net/is/leccion1-fundamentosdetriz.html>].
- [7] López, D.E.C., ed. *La metodología triz y su impacto en la innovación industrial en México*. 1999.
- [8] Altshuller, G., *And suddenly the inventor Appeared, TRIZ, The Theory of inventive problem solving*. 1996, Technical Innovation Center, Inc Worcester, MA.
- [9] Córdova, E., *TRIZ: Une manière innovante de résoudre les problèmes d’Ingénierie*. 1999, Instituto Nacional Politécnico de Toulouse: Francia.
- [10] Maldonado, M.C., *Innovación Sistemática Mediante TRIZ*. 2005.
- [11] Martínez, P.S.P.F.P., *Alcances y aplicaciones en la fase de diseño conceptual de TRIZ, teoría de resolución acelerada de problemas del ámbito mecánico en Chile*. 2007, 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- [12] Rantanen, K.y.E.D., *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. 2002, Boca Raton: FL: CRC St. Lucie Press.
- [13] Ames, W.C., *Administración TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática*. 2008.
- [14] Rodríguez, J.L.M., *El proyecto de curso en la Teoría de Mecanismos y Máquinas*. 1988.
- [15] Angel S. Machado Rodríguez, *Elevación de la capacidad portante en los engranajes cilíndricos mediante el desplazamiento del dentado*. 2007, 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- [16] Cherkashin, B.P., *Selección de los coeficientes de corrección óptimos para los dientes de un engranaje*. 1980, Viestnik Mashinostroenia.
- [17] Dudley, D.W., *Manual de Engranajes*. 1980, Continental: México.
- [18] Reshetov, D., *Elementos de máquinas*. 1985, Editorial Pueblo y Educación: La Habana.
- [19] Córdova, E., *La metodología triz y su impacto en la innovación industrial en México*. 1999.