

De la innovación con TRIZ

TRIZ. Aplicación de TRIZ.

TRIZ

Concepto

Se trata de un acrónimo a partir del nombre original en ruso (*ТРИЗ*) y puede entenderse como la *Teoría para Resolver los Problemas del Inventor*. Fue desarrollada a mediados de los 50 del siglo pasado por Genrich Altshuller (1926 - 1999), un ingeniero e inventor soviético y quien progresivamente fue mejorando la teoría. Al trabajar en la Oficina de Patentes o de reconocimientos, revisó cerca de 40 mil documentos que le permitieron estudiar el o los procesos de cómo se produjeron las innovaciones. Alrededor de este estudio desarrolló diversos conceptos, como: los principios de la invención, las leyes de evolución de los sistemas técnicos, las contradicciones técnicas y físicas (la solución de un problema puede ocasionar que aparezca otro), el sistema ideal, y métodos de resolver problemas aprovechando la creatividad e inventiva.

De Altshuller proviene la siguiente definición: *Invención es la remoción de una contradicción técnica con la ayuda de ciertos principios.*

Niveles

Igualmente ordenó las soluciones en cinco niveles:

Nivel	Descripción	% aproximado de ocurrencia
Cinco	Un raro descubrimiento científico o una invención pionera de un nuevo sistema.	1
Cuatro	Solución enfocada más en la ciencia que en la tecnología. Una nueva generación que usa un nuevo principio para efectuar las funciones primarias de un sistema.	4
Tres	Se resuelven contradicciones. Se trata de mejoras fundamentales de un sistema existente, por métodos conocidos fuera de la industria.	18
Dos	Mejoras menores de un sistema existente, usando métodos conocidos dentro de la industria.	45
Uno	No se necesita invención. Los problemas rutinarios de diseño son resueltos por métodos muy conocidos dentro de la especialidad.	32

Pasos

En TRIZ se reconocen los siguientes cuatro pasos globales.

Paso	Nombre	Descripción
Uno	Identificación del problema	Identificación del sistema de ingeniería que se estudia. Su ambiente operativo. Los requerimientos de recursos. La función útil primaria. Efectos dañinos. El resultado ideal.
Dos	Formulación del problema.	Restablecer el problema en términos de sus contradicciones físicas. Identificar los problemas que pudieran ocurrir. ¿Hay conflictos técnicos? ¿Puede mejorar una característica técnica para resolver un problema empeorado por otra característica técnica?
Tres	Investigar los problemas bien resueltos previamente	El autor de TRIZ trabajando con un millón y medio de patentes en el mundo, extrajo 39 características técnicas o parámetros ingenieriles que podrían causar conflictos entre sí.
Cuatro	Buscar soluciones análogas y adaptarlas para la solución.	Este paso es principalmente válido para el segundo nivel. Puede hacerse empleando una lista de 40 principios inventivos que el autor de TRIZ dedujo de las patentes.

Parámetros ingenieriles que podrían causar conflicto

- Encontrar las características ingenieriles contradictorias. Puede reflejarse en una matriz de contradicciones.
- Encontrar el parámetro o característica técnica que necesita ser cambiado.
- Encontrar el parámetro que tiene un efecto secundario indeseable.
- Establecer el conflicto técnico estándar.

Estos son los 39 parámetros ingenieriles que podrían causar conflictos entre sí. El conflicto se señala por pares de parámetros entre sí.

Lista de parámetros ingenieriles

1. Peso de un objeto en movimiento	11. Tensión, presión.	21. Potencia.	31. Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto.
2. Peso de un objeto	12. Forma.	22. Desperdicio de energía.	32. Posibilidad de fabricación.

Lista de parámetros ingenieriles

estacionario.

3. Longitud de un objeto en movimiento.	13. Estabilidad del objeto.	23. Desperdicio de sustancia.	33. Conveniencia de uso.
4. Longitud de un objeto estacionario.	14. Resistencia.	24. Pérdida de información.	34. Posibilidad de reparación.
5. Área de un objeto en movimiento.	15. Durabilidad de un objeto en movimiento.	25. Pérdida de tiempo.	35. Adaptabilidad.
6. Área de un objeto estacionario.	16. Durabilidad de un objeto estacionario.	26. Cantidad de la sustancia.	36. Complejidad del dispositivo.
7. Volumen de un objeto en movimiento.	17. Temperatura.	27. Confiabilidad.	37. Complejidad de control.
8. Volumen de un objeto estacionario.	18. Brillo.	28. Exactitud de la medición.	38. Nivel de automatización.
9. Velocidad.	19. Energía consumida por un objeto en movimiento.	29. Exactitud de la manufactura.	39. Productividad.
10. Fuerza.	20. Energía consumida por un objeto estacionario.	30. Factores de daño actuando en el objeto desde afuera.	

Principios inventivos o de resolución

Estos son los 40 principios inventivos del TRIZ.

Principios inventivos

Número	Nombre	Descripción
1	Segmentación	Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un objeto divisible en secciones. Incrementar el grado de segmentación del objeto.
2	Extracción	Separar o remover partes o propiedades que perturban en un objeto.
3.	Calidad local	Transición desde una estructura homogénea de un objeto a una estructura heterogénea (o fuera de su ambiente).

Principios inventivos

Número	Nombre	Descripción
4.	Asimetría	Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica. Si un objeto es asimétrico, incrementar el grado de asimetría.
5.	Combinación	Combinar en espacios homogéneos u objetos destinados para operaciones contiguas. Combinar en tiempos homogéneos o en operaciones contiguas.
6.	Universalidad	Haga que el objeto efectúe múltiples funciones. De esta manera se elimina la necesidad de algún otro.
7.	Anidamiento	Contenga el objeto dentro de otro, el cual a su vez, es colocado dentro de un tercero.
8.	Contrapeso	Compense el peso de un objeto juntándolo con otro objeto que tiene una función de levante. Compense el peso de un objeto al interactuar en un ambiente que le proporcione fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas.
9.	Acción contraria previa	Previamente efectúe una acción contraria. Si el objeto es o estará bajo tensión, proporcione una anti tensión en avance.
10.	Acción previa	Efectúe todas o alguna de las acciones requeridas en avance. Arregle los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente.
11.	Suavizar en avance	Compense la relativamente baja confiabilidad de un objeto tomando contramedidas en avance.
12.	Equi-potencialidad	Cambie las condiciones de trabajo tal que el objeto no necesite se elevado o bajar.
13.	Inversión	Implemente una acción opuesta a la especificada por el problema. Haga movable una parte de un objeto inmóvil, o haga movable el ambiente externo inmóvil. Voltee el objeto.
14.	Esferoidicidad	Reemplace las partes lineales o planas por otras curvas. Reemplace las formas cúbicas por esféricas. Use rodillos o esferas aún en forma de espiral. Reemplace el movimiento lineal con movimiento rotatorio. Utilice una fuerza centrífuga.

Principios inventivos

Número	Nombre	Descripción
15.	Dinamicidad	Haga un objeto o su ambiente automáticamente ajustado para un desempeño óptimo en cada estadio de la operación. Divida un objeto en elementos cambiando la posición relativa uno de otro. Si un objeto es inamovible, hágalo movible o intercambiable.
16.	Acción parcial o de sobre cobertura	Si es difícil obtener 100% de un efecto deseado, alcance algo más o menos para simplificar el problema.
17.	Moviendo a una nueva dimensión	Remueva problemas moviendo el objeto en forma lineal o bidimensional. Use un ensamble de objetos en capas múltiples en vez de una sola capa. Incline un objeto o gírelo a algún lado.
18.	Vibración mecánica	Establezca un objeto en oscilación. Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aún a nivel ultra sonido. Use la frecuencia de resonancia. En vez de vibraciones mecánicas, use vibradores piezoeléctricos. Use vibraciones ultrasónicas en combinación con un campo de oscilaciones electromagnéticas.
19.	Acción periódica	Reemplace una acción continua con una periódica. Si una acción es periódica, cambie su frecuencia. Agregue pulsos para una acción adicional.
20.	Continuidad de una acción útil	Llevar una acción continuamente, sin pausas, para que todas las partes operen a total capacidad. Remueva tiempos muertos o intermedios.
21.	Pasar rápido	Efectuar operaciones dañinas o riesgosas a muy alta velocidad.
22.	Convertir daño en beneficio	Utilizar factores dañinos o efectos ambientales para obtener un efecto positivo. Remover un factor dañino por combinarlo con otro factor dañino. Incrementar la cantidad de una acción dañina hasta que deje de ser dañina.
23.	Retroalimentación	Introducir retroalimentación.

Principios inventivos

Número	Nombre	Descripción
		Si la retroalimentación existe, invertirla.
24.	Intermediación	Use un objeto intermedio para transferir o llevar adelante una acción. Temporalmente conecte un objeto a otro que sea fácil de remover.
25.	Autoservicio	Hacer que el objeto se sirva asimismo y lleve a cabo acciones suplementarias y de reparación. Hacer uso de desperdicios o excesos de energía.
26.	Copiado	Usar una copia simple y barata en vez de un objeto complejo, caro, frágil o con inconvenientes para operar. Reemplazar un objeto por una copia o imagen, aún a escala. Si las copias ópticas visibles han sido ya usadas, reemplácelas por copias infrarrojas o ultravioleta.
27.	Objetos baratos y de corta vida por uno caro y durable	Reemplace un objeto caro por una colección de objetos baratos.
28.	Reemplazo de un sistema mecánico	Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio). Use un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto. Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados. Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).
29.	Construcción neumática o hidráulica	Reemplace partes sólidas de un objeto por gas o líquido. Puede usarse aire o agua.
30.	Membranas flexibles o películas delgadas	Reemplazar construcciones tradicionales por otras de membranas flexibles o películas delgadas. Aislar un objeto de su ambiente usando membranas flexibles o películas delgadas.
31.	Uso de material poroso	Hacer un objeto poroso o agregar elementos porosos. Si un objeto ya es poroso, rellene algunos poros.
32.	Cambio de color	Cambiar el color de un objeto o de su entorno. Cambiar el grado de translucidez de un objeto hacia otro difícil de ver.

Principios inventivos

Número	Nombre	Descripción
		Usar aditivos colorantes para observar objetos o procesos difíciles de ver. Si tales dispositivos están ya en uso, emplear trazos luminiscentes.
33.	Homogeneidad	Hacer aquellos objetos con los cuales interactúa el objeto principal del mismo material o uno cercano.
34.	Desechar o regenerar partes	Después de que ha completado su función, desechar el elemento del objeto. Inmediatamente restaurar cualquier parte de un objeto el cual es exhausto.
35.	Transformación de estados físicos y químicos de un objeto	Cambiar el estado, densidad, flexibilidad, temperatura.
36.	Transformación de fase	Implementar un efecto desarrollado durante la fase de transición de una sustancia. Por ejemplo, durante el cambio de volumen, liberación o absorción de calor.
37.	Expansión térmica	Usar un material que se expande o contrae con el calor. Usar varios materiales con diferentes coeficientes de expansión de calor.
38.	Use oxidantes fuertes	Reemplace aire normal por enriquecido. Reemplace aire enriquecido con oxígeno. Trate un objeto en aire o en oxígeno con radiación ionizada. Use oxígeno ionizado.
39.	Ambiente inerte	Reemplace el ambiente normal con otro inerte. Lleve el proceso al vacío.
40.	Materiales compuestos	Reemplace material homogéneo con otro compuesto.

Los principios inventivos se asocian a la matriz de conflictos, para identificar posibles soluciones a las contradicciones.

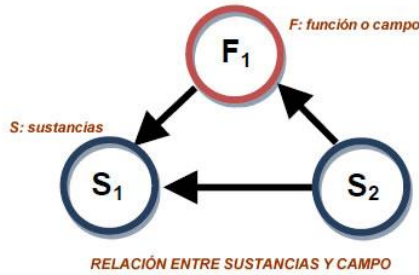
Estándares y algoritmo

El autor de TRIZ desarrolló trabajos adicionales, por ejemplo, el de estandarizar las soluciones encontradas, en un total de 76 presentándolas en los siguientes grupos.

- *Modificación de un sistema para conseguir un resultado deseado o eliminar un resultado indeseado, 13*

- *Desarrollo del sistema sustancia-campo, 23*
 - *Transiciones de sistema al supersistema o al micronivel, 6*
 - *Detección y medida, 17*
 - *Métodos para simplificación y mejora de las soluciones tradicionales, 17*
- También un algoritmo de resolución de problemas inventivos (denominado ARIZ).

El sistema sustancia – campo



Se trata de un símil a la base de datos que relaciona las diferentes maneras para llegar a **funciones** clave. Se necesita saber **qué quiere hacerse**, y sobre que **sustancias hay que actuar**.

El proceso requiere de la conversión del sistema de campos y sustancias relacionadas entre sí (generalmente dos sustancias y un campo).

La herramienta de conversión dispone de las siguientes cinco reglas.

- Cambiar la sustancia S_2 por otra sustancia S_3 a fin de generar un nuevo campo F_2 que no perjudique a S_1 .
- Agregar una sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_2 lo modifique, y no perjudique a S_1 .
- Agregar una nueva sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_1 lo modifique, y que la acción de S_2 no perjudique a S_1 .
- Agregar una nueva sustancia S_3 intermedia entre S_1 y S_2 , que al actuar F_1 , genere un nuevo F_2 que modifique S_1 o S_2 para evitar su acción perjudicial.
- Agregar una nueva sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_1 y S_2 los modifique, y evitar su acción negativa.

Proceso del TRIZ



Se trata de pasar del problema específico al general. Encontrar la solución general con ayuda del TRIZ. Y de ahí pasar a una solución específica.

La incorporación de los estándares, junto con los principios, ayuda a encontrar una solución típica, base de aquella específica buscada.

Aplicación de TRIZ

Referencia

Y. Mohamed and S. AbouRizk (University of Alberta, Edmonton, Canada). *Application of the Theory of Inventive Problem Solving in Tunnel Construction*. Journal of Construction Engineering and Management. Vol 131, N° 10, October 1, 2005. ASCE, USA.

A juicio de los autores, la teoría del TRIZ proporciona una herramienta importante, sino única, para el desarrollo estructurado de soluciones innovadoras en problemas técnicos. El artículo describe el TRIZ y lo utiliza en el campo de construcción de túneles. La teoría genera soluciones conceptuales a varios problemas en este campo. En la comparación con otras herramientas, el TRIZ puede ser usado por personal no experto y proporciona ideas para las tecnologías en uso. Le auguran mucho futuro en el campo de la construcción.

Introducción

Para generar mejoras innovadoras en sistemas técnicos de construcción, hay que superar dos problemas: (1) crear un ambiente que motive y adopte soluciones de innovación, y (2) gestionar el conocimiento técnico y la experiencia necesarias para generar este tipo de soluciones de una manera estructurada y sistemática.

El TRIZ se ha usado en el campo de la construcción como en el izado de losas, en cabezales de pilotes sumergidos y en la erección de silos de acero. Además, como es conocido, se ha aplicado extensamente en campos distintos a la ingeniería civil.

Matriz de conflictos

Los principios identificados en TRIZ también se convierten en una herramienta básica al ser expresada como una **matriz de conflictos**, relacionando los principios convertidos en parámetros, e identificados en pares que entran en contradicción, tal como se ilustra en el diagrama adjunto.

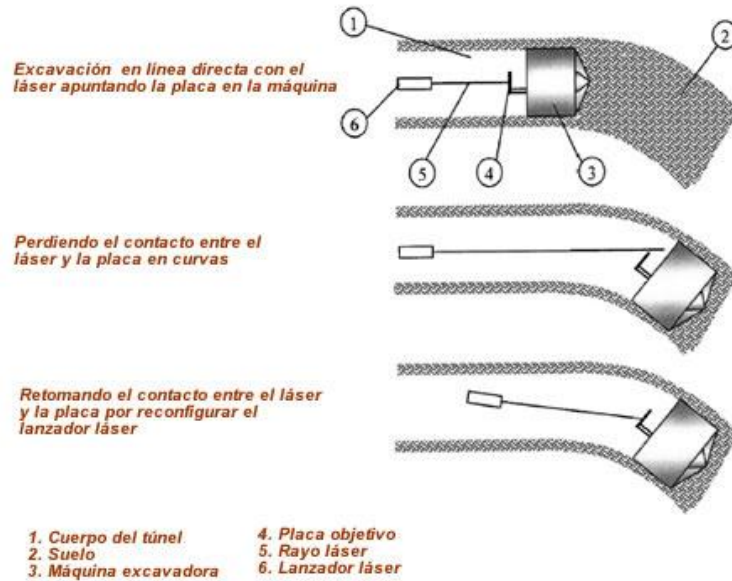
- La matriz está conformada por renglones y columnas empleando los parámetros. Cada celda representa un tipo particular de contradicción técnica, y contiene un grupo de números que corresponden a los principios inventivos que han sido exitosamente aplicados para resolver dicha contradicción. El primer paso es emplear la matriz para analizar el problema e identificar sus componentes y sus respectivas funciones.
- El siguiente paso es el análisis del problema, y de ahí a formular las contradicciones entre parámetros. Una contradicción ocurre si al mejorar una característica se deteriora otra, y viceversa. Así, si una actividad es esencial para garantizar la exactitud de la construcción, pero al mismo tiempo provocará la demora de otras, tal conflicto puede ser formulado como una contradicción entre dos parámetros: el número 25 (desperdicio de tiempo) y el número 29 (exactitud de manufactura). En la celda de intersección se consigna esta contradicción. Los parámetros de resolución que se consignan se ordenan según la frecuencia de uso. En el gráfico, son: 24

(intermediación), 26 (copiado), 28 (reemplazo de un sistema mecánico), y 18 (vibración mecánica), los cuales representan orientaciones para encontrar una solución.

		Parámetros que pueden empeorar				
		27	28	29	30	31
Parámetros que pueden ser mejorados	Parámetros ingenieriles	Confiabilidad	Exactitud de medición	Exactitud de manufactura	Factores de daño actuando en el objeto desde afuera	Factores de daño desarrollados por un objeto
	23 Pérdida de sustancia			35, 10, 24, 31		
	24 Pérdida de información					
	25 Desperdicio de tiempo	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39
	26 Cantidad de sustancia			33, 30		
	27 Confiabilidad	Contradicción física		11, 32, 1		
	28 Exactitud de medición		Contradicción física			
Principios de resolución		23) Retroalimentación 24) Intermediación 25) Autoservicio		26) Copiado 27) Objetos baratos y de corta vida 28) Reemplazo de un sistema mecánico		

MATRIZ DE CONTRADICCIONES: PARÁMETROS INGENIERILES Y PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN

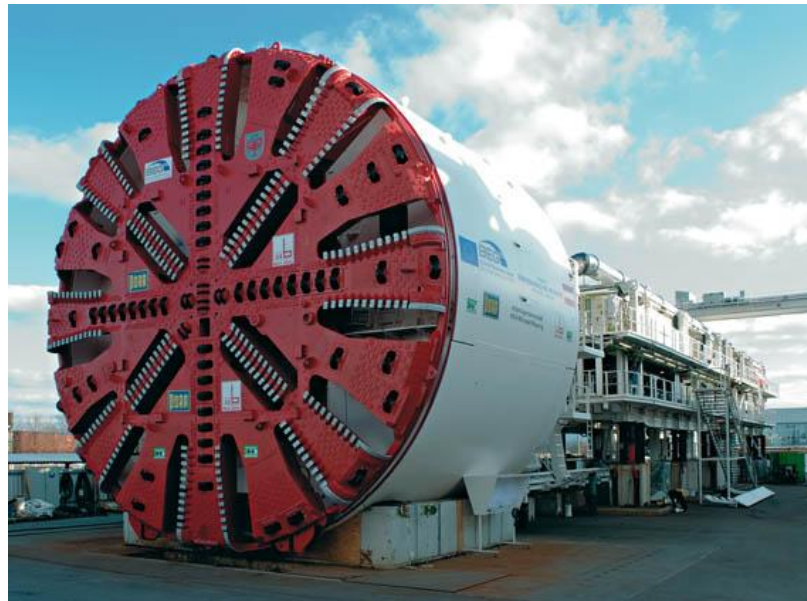
Proceso de trabajo en túneles



PROBLEMA DE ALINEAMIENTO EN LA MÁQUINA EXCAVADORA

Tres son los procesos principales en los proyectos de túneles: excavación, remoción de escombros, y sostenimiento del túnel. Al utilizar una máquina excavadora de túnel (TBM, por las siglas en inglés), paralelamente a la excavación se realiza la remoción de escombros y su correspondiente retiro

(puede utilizarse uno o varios vehículos de carga). La investigación muestra el uso de TRIZ para solucionar problemas asociados a la máquina excavadora.



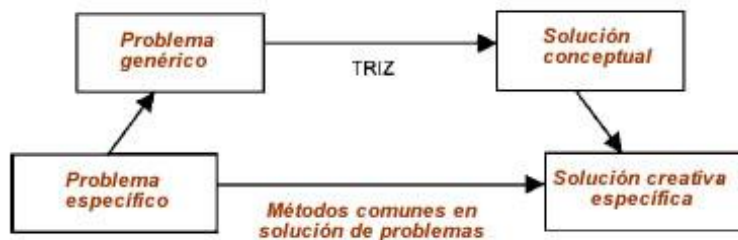
TBM

El Tunnel Boring Machine es una máquina de excavación cuya tecnología ha ido evolucionando desde sus inicios a fines del siglo XIX. La perforación es de corte circular desde las pequeñas de 1 m a otras mayores del orden de los 20 m de diámetro. Inicialmente para suelos y roca blanda, ahora hay disponibles para roca dura. Al cabezal, en el frente de la excavación, es posible agregar un sistema automatizado de evacuación y sostenimiento del túnel en diferentes modalidades

Problema de alineamiento

El problema de alineamiento de la máquina surge cuando se trata de mantener la trayectoria correcta para la excavadora. Ello se dificulta en una curva de la trayectoria del túnel, cuando el rayo láser se desvía de la placa, y una cuadrilla tiene que reconfigurar el lanzador o disparador del rayo. Durante ese tiempo, la excavadora no puede operar sin el alineamiento apropiado, y porque la cuadrilla ocupa el espacio hacia la frontera del túnel.

Aplicación del TRIZ



MÉTODO TRIZ EN RELACIÓN CON LOS MÉTODOS COMUNES

- La solución con el empleo de TRIZ implica reformular el problema específico en una forma genérica. Esto libera el problema en términos de sus límites conceptuales. Una vez que se formula el problema genérico, varios principios o soluciones estándar del método aparecen como sugerencias para su solución. Estas actúan como orientadores para soluciones conceptuales del problema original.
- Al usar la matriz de contradicciones, el problema genérico es formulado en la forma de una o más contradicciones entre los diferentes parámetros del sistema.

Caso del alineamiento

El objetivo del problema que nos ocupa es conseguir que el sistema de alineamiento de la máquina excavadora sea tal que la excavación se realice en la dirección correcta. La contradicción en esta situación está entre la exactitud de la excavación y el tiempo perdido al reconfigurar el sistema láser de alineamiento. Los parámetros genéricos que corresponden a esta situación son el 25 (pérdida de tiempo) y el 29 (exactitud de la manufactura). Así el problema genérico se describe como sigue: *para mejorar el tiempo perdido en el sistema, el proceso de manufactura llega a ser menos exacto*. Como conclusión, la resolución del problema puede ser calificada de *mejora de métodos tradicionales*.

En consistencia con los *76 estándares del TRIZ*, la solución se ubica en el grupo de *Métodos para simplificación y mejora de las soluciones tradicionales*, de los que se han seleccionado los principios de resolución 24, 26, 28, y 18.

Generando una solución

Principios de solución general y generación de soluciones

Número	Nombre	Descripción de la solución general	Solución específica
24.	Intermediación	Use un objeto intermedio para transferir o llevar adelante una acción. Temporalmente conecte un objeto a otro que sea fácil de remover.	Use un transportador entre el disparador láser y la placa objetivo, que pueda ser fácilmente ajustado a la curva del recorrido.
26.	Copiado	Usar una copia simple y barata en vez de un objeto complejo, caro, frágil o con inconvenientes para operar. Reemplazar un objeto por una copia o imagen, aún a escala. Si las copias ópticas visibles han sido ya usadas, reemplácelas por copias infrarrojas o ultravioleta.	En vez de interactuar directamente con la excavadora, actúe con una copia de sus coordenadas. Copie y automatice las tareas de reconfiguración que efectúa la cuadrilla encargada.
28.	Reemplazo de un sistema	Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico,	Use campos distintos al láser para detectar la ubicación y

Principios de solución general y generación de soluciones

Número	Nombre	Descripción de la solución general	Solución específica
	mecánico	acústico u olfatorio). Use un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto. Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados. Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).	diseño de coordenadas de la excavadora, de tal manera que sea más controlable.
18.	Vibración mecánica	Establezca un objeto en oscilación. Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aún a nivel ultra sonido. Use la frecuencia de resonancia. En vez de vibraciones mecánicas, use vibradores piezoeléctricos. Use vibraciones ultrasónicas en combinación con un campo de oscilaciones electromagnéticas.	Use ondas sonoras o ultrasonido para detectar la localización de la máquina de excavación.

Los siguientes conceptos son considerados para conseguir un mejor sistema de guía de la máquina excavadora. Una opinión especializada puede conducir a propuestas de diseño detalladas.

- Un sistema que incremente la automatización y la menor participación humana, especialmente en la reconfiguración del sistema láser.
- Cambiar el sistema fijo del disparador láser por otro más fácil de controlar con prismas ajustables. Un teodolito láser en vez del disparador láser, incluso puede ser guiado por un sistema de cómputo.
- Cambiar a un campo diferente que sea más controlable y flexible, como el de ondas sonoras o ultrasonido. Un sistema que use giroscopios y acelerómetros en vez de láser.