

RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA

Victor W. Goldschmidt

PO Box423 Northport MI, USA 49670-0423

Email: creating2@earthlink.net

Revisado en abril de 2009

RESUMEN

Hay una gran diferencia entre los "libros de texto" y los problemas reales que enfrentan los ingenieros y técnicos. Los Problemas de los libros de texto son explícitos y exigen una sola solución exacta. Problemas de ingeniería invariablemente tienen diferentes soluciones y rara vez tienen todos los datos necesarios para su solución. En lugar de un dominio de relaciones matemáticas complejas, la formación de ideas es reconocida como un componente importante en la solución de problemas, requiriendo creatividad y búsqueda de soluciones múltiples. Se presentan ejemplos de bloqueos o barreras a la solución creativa de problemas por medio de casos reales y métodos para mejorar el proceso de divergencia en la generación de ideas.

A. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en el Diseño en Ingeniería, en el desarrollo de productos, en la fabricación, en las ventas y en los servicios, es transformar los problemas en oportunidades y los desafíos en soluciones. Existen metodologías para resolución de problemas que generalmente son olvidadas o descuidadas por el rápido ritmo de la industria. La principal característica, ya sea implícita o explícita, para todas estas metodologías es la creatividad.

En las siguientes partes primero se presentara una Introducción y luego una metodología no convencional. Se observara la necesidad de creatividad y los bloqueos a la creatividad más comunes al resolver problemas. Finalmente se terminará con ejemplos de estudios de casos.

B. INTRODUCCIÓN A LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

1. Enfoque clásico o del libro de texto: No debería sorprender la cantidad de estudiantes de ingeniería que finalmente reconocen que ellos realmente no comprenden la sutileza de la solución de problemas hasta enfrentarse con un verdadero problema de solución abierta, ya sea durante un proyecto de tesis de posgrado, o bajo la tensión del trabajo como empleado en una empresa (organización con fines de lucro). Antes de esta confrontación con la realidad, ellos dominaban un proceso bastante diferente. En primer lugar recibieron sólo las herramientas adecuadas para resolver un problema, a través de ecuaciones o expresiones similares de principios teóricos o conceptos. A continuación, vieron ejemplos de problemas en su libro de texto y los revisaron antes de ser asignados a tareas bastante similares. La característica fue simple: "Dado..., buscar la solución". En otras palabras, ellos sólo ven las ecuaciones para el volumen de un cilindro, y de una placa cilíndrica, probablemente se les habría pedido resolver un problema como el siguiente: "Una taza tiene un diámetro de 5 pulgadas, 4 pulgadas de altura y un grosor de 1/4 de pulgada y construido con un material con una gravedad específica de 2, encontrar su peso, puede ignorar el peso del asa de la taza". Las expresiones "Dado" y "Buscar" pueden estar perfectamente señaladas en el formato de la tarea a resolver, seguido por una entrada titulada "Solución", donde en primer lugar se escribirán las ecuaciones básicas, después las hipótesis, y finalmente las ecuaciones se resuelven con los mismos números para todas las soluciones correctas. Incluso las respuestas de los problemas muchas veces están en la parte final del libro de texto.

Aunque el ejemplo anterior parece trivial, la metodología es representativa, incluso en los problemas más complejos en la mayoría de nuestros libros de ingeniería. El "Dado" incluye todos los datos necesarios (y

nada más que eso) para una solución, el "Buscar" está redactado de manera que hay una sola y única solución correcta.

2. Más allá de los libros de texto: Un problema típico en ingeniería apenas identificará el "buscar". La primera tarea será simplificar el "buscar". Volviendo al ejemplo trivial anterior, supongamos que el problema habría sido determinar el peso de las tazas, aunque no estén diseñadas o hechas. Lo primero sería identificar el uso de la taza (es decir, para café expresso, para viajeros con café en su tablero, etc.). Además a diferencia de los problemas de libros de texto, lo común es tener demasiados datos, la mayoría de los cuales son irrelevantes para el problema (como el coste, tiempo de fabricación, métodos de envío, proveedores,...); mientras que los datos claves están generalmente ausentes y tenemos que buscar aproximaciones e investigaciones en manuales técnicos. El camino hacia la solución requiere simplificación, visión de modelo, la aplicación de un conjunto apropiado de herramientas y ensayos y la generalización de los resultados.

Lo antedicho probablemente suena cómodo y fácil. Lamentablemente el mayor desafío es definir primero el problema real. En lugar de obtener el peso de un cilindro y de un disco, podría haber sido seleccionar y decidir el peso resultante del portavasos para personas en lanchas a motor. Esto requeriría tomar muchos pasos antes de considerar alguna herramienta matemática y física, además ¿Quién dice que la mejor solución sería una taza cilíndrica? Tal vez sería necesario hacer una lluvia de ideas mucho antes de utilizar cualquier herramienta cuantitativa.

3. Tipos de soluciones: Como se señaló en los párrafos anteriores las soluciones se pueden clasificar como determinista (para responder a preguntas como "¿Cuál es el peso de este producto?") o no-determinista ("¿Qué color debería tener el producto?"). Las soluciones deterministas pueden ser exactas (respondidas mediante un conjunto cerrado de ecuaciones), iterativas (requiere iteración de un sistema de ecuaciones simultáneas) o aproximadas (como estimar los beneficios de un producto). Lo fascinante es darse cuenta que incluso soluciones "deterministas" de problemas de ingeniería están precedidas por cuidadosas decisiones tomadas en consideración a las diversas soluciones, su prioridad y la selección final. Y esto invariablemente sería beneficiado por una creativa lluvia de ideas.

C. GENERALIZACIÓN DE PASOS EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La situación ya se ha establecido. Ahora resulta adecuado abordar los pasos en la solución de problemas, mucho más allá del típico libro de texto. Son clásicos y para todos los propósitos prácticos, estos pasos son necesarios en la solución de problemas de ingeniería. Este es el caso de, si el problema es decidir cómo abordar a un cliente potencial, o cómo eliminar el ruido en una unidad de condensación.

1. Preparación: Sin duda, es poco práctico hacer que un estudiante de ingeniería principiante trate de resolver el problema de determinar la temperatura en la superficie de una válvula de inversión de ciclo. Es evidente que se necesita algún conocimiento de transferencia de calor y de termodinámica. Del mismo modo, un artista incipiente sin la comprensión y dominio de perspectivas, incluso con una inusual destreza para la composición del color, no podría resolver el problema de representar adecuadamente un edificio en tres dimensiones. Preparación y familiaridad con herramientas útiles son esenciales en la solución de problemas.

2. Definición: Esta es una vieja historia, sobre un hombre al regresar a su casa, algo tarde y considerablemente ebrio. Intenta abrir la puerta principal con su llave sin despertar al barrio entero, y solo logró alboroto y enojo, no pudo enfocarse en el ojo de la cerradura. Su esposa finalmente gritó desde la ventana del segundo piso, exigiendo saber lo que estaba tratando de hacer, ¡despertar a todo el vecindario! Él contestó: "Estoy tratando de abrir la puerta" A lo que ella respondió: "¡Despistado, la puerta de atrás está abierta!"

Todo lo anterior demuestra, además que el hombre necesita alguna terapia, un caso de un problema mal definido. Definió su problema en cuanto a cómo abrir la puerta. Si a tiempo él habría pensado en como entrar a su casa él habría intentado con la puerta de atrás.

3. Revisión y reacción: Encantados con el cierre, muchos buscan una solución inmediata y, entonces cierran los libros y claman “¡Esta resuelto!” De hecho es deseable listar todas las soluciones inmediatas que pueden venir a la mente después de definir el problema. Sin embargo, lo más probable es que nunca sean la mejor solución. Una y otra vez, en muchos problemas típicos con varias soluciones, la primera solución no es la mejor. Sin embargo, al no registrar esos primeros pensamientos, y luego borrar la pizarra, pueden obstaculizar la creatividad.

4. Incubación: Charles Haddad fue un diseñador para uno de los principales fabricantes de vehículos. Un verdadero genio creativo, reconoció la importancia de colocar un problema, una vez definido, en su subconsciente y dejarlo allí, descansar temporalmente fuera del alcance de la mente consciente. La mente subconsciente es fascinante. Puede procesar en varios canales; hacer aparentemente infinitas combinaciones y disfrutar divergiendo y jugando con ideas, conceptos e imágenes. En realidad prefiere trabajar al margen de lo consciente y hacer lo mejor cuando el consciente está alentando a su “libre niño”. Todos hemos tenido, al menos una vez, la emoción que acompaña y sigue al proceso de incubación; el tiempo de decir "aaahhhh".

5. Iluminación: La iluminación se convierte en el “¡¡AHA!!” para algunos de nosotros durante un paseo por la mañana, otros durante una ducha y en algunos justo antes de dormir. Charles Haddad desarrolló una habilidad fascinante. En algún momento después de haber colocado un problema en la incubación, y sellado el acceso a su subconsciente, él podía visualizarse removiendo la cubierta, buscando y alcanzando la iluminación. Mientras que no todos pueden llegar a ser ágiles con sus mentes, todos pueden intencionalmente proporcionar y desarrollar la capacidad de soñar y tranquilamente permitirse el encantador “AHA” nacido de la danza conjunta entre consciente e inconsciente.

Los tres pasos anteriores, revisión y reacción; incubación; e iluminación pueden combinarse como un proceso de ideación. Con el problema definido, se identifican varias soluciones, incluso si es conceptual. Este proceso requiere normalmente una lluvia de ideas creativas.

6. Selección: Tras el flujo creativo de múltiples alternativas, el siguiente paso es seleccionar mediante el análisis y priorización, una posible solución. El desafío es empezar con las alternativas que tienen un alto grado de innovación y como resultado un bajo grado de viabilidad. Es más fácil avanzar hacia la viabilidad que moverse hacia la innovación una vez realizada una selección. El análisis puede incluir (como en el caso de desarrollo de productos) investigación y desarrollo adicional; y desarrollo de prototipos, pruebas y mejora.

7. Aplicación: La emoción muchas veces decae en esta etapa del proceso. La creatividad ha ganado su premio, ahora la realidad esta presente y se debe escribir el informe final, o el producto tiene que ser fabricado y comercializado, o la organización tiene que conducirse a una nueva dirección. Se podría requerir de una Planificación Estratégica antes de iniciar esta etapa para asegurarse que los implicados en la solución tengan algún grado de propiedad y responsabilidad.

8. Validación/evaluación: Es el paso más olvidado. Es demasiado fácil decir “Problema resuelto, continuemos con el siguiente;” a la vez es un paso importante la validación que el verdadero problema haya sido resuelto. Además, la evaluación de la eficacia y la eficiencia de los métodos aplicados para solución invariablemente abren nuevas puertas para la mejora. Del mismo modo que un buen proyecto de investigación no sólo conduce a nuevos conocimientos, sino también a nuevas preguntas; las

soluciones creativas e innovadoras de un problema particular siempre tienen el potencial de provocar mejores soluciones y alternativas. Y eso significa que el proceso de resolver el problema continúa, ahora como un problema redefinido y de segunda generación... ¡y de nuevo volver al primer paso!

D. NECESIDAD DE LA CREATIVIDAD

El paso de ideación es probablemente el paso más importante en la solución de problemas de ingeniería. Como ya se ha señalado consiste en un proceso divergente de varios métodos posibles para resolver el problema. Incorpora múltiples casos de corta incubación e iluminación. Intencionalmente no hay tiempo para análisis ni crítica, sólo construcción de ideas, a través de asociaciones, metáforas, analogías. Se aboga por una dinámica de lluvia de ideas en un entorno creativo.

Durante los años en la aplicación de intercambio de ideas creativas para definir alternativas de diseño, métodos para reorganizar un departamento, para encontrar soluciones a los problemas prácticos de ingeniería, etc., hemos aplicado técnicas para estimular la creatividad de los participantes. Las hipótesis de trabajo son:

- Las nuevas ideas son impulsadas por la creatividad,
- El potencial de la creatividad está en todos,
- La creatividad se libera al eliminar los bloqueos o barreras,
- La creatividad es irracional, revolucionaria y dinámica,
- La creatividad está relacionada a combinaciones, asociaciones, metáforas y analogías,
- Y la creatividad está relacionada con el "lado derecho del cerebro", el "niño libre" y el subconsciente.

Las implicancias de lo anterior al proceso de ideación son la necesidad de un entorno permisivo y libre, participativo, con retroalimentación positiva, lúdica y permitir los sueños, el uso de analogías, metáforas, combinaciones y activar ejercicios de creatividad. Estos ejercicios de activación incluyen dos técnicas importantes y rara vez aplicadas. Uno es intencionadamente interrumpir un proceso de solución de problemas con cortas e intensas actividades del lado derecho del cerebro (como por ejemplo cantar, ejecutar, jugar). A través de años de experimentación con estudiantes de ingeniería, se ha demostrado la eficacia de estas interrupciones, o "incubreaks" en la mejora de soluciones creativas de problemas. Este también es el caso de los sueños. Después de dominar la capacidad para recordar y analizar los sueños por un período de 10 años, más de 200 estudiantes fueron capaces de resolver un problema de ingeniería en un sueño, y menos de cinco no pudieron hacerlo.

Nos recuerda aquel dicho, "Ingeniería sin creatividad se convierte en un muerto, no hay auto duplicación de tecnología".

E. BLOQUEOS COMUNES A LA CREATIVIDAD PARA RESOLVER PROBLEMAS

A menos que conozcamos al enemigo, no podemos derrotarlo. De la misma manera, a menos que identifiquemos los bloqueos a la creatividad, resultará más difícil superarlos. Algunos de estos bloqueos forman parte de la cultura de una organización. Ejemplos serían los clásicos: NIA (no inventado aquí), falta de reconocimiento y recompensa, o un crítico estilo de no-autonomía de gestión. Sin embargo, la mayoría de los bloqueos más fuertes están internalizados en las personas. Ahora se presentarán ejemplos. Se basan en situaciones reales, con nombres cambiados por razones de privacidad.

1. Se ha logrado: Greg era un estudiante graduado en diseño industrial, y se introdujo en un curso de pregrado el proceso creativo en ingeniería. La asignación fue simple. Identificar los diferentes medios de transferir el café de una urna a la boca de las personas. La mayoría de los estudiantes cuando tienen permiso de no poner límites a sus mentes presentan diseños estupendos. Entre ellos había un esquema fantástico emulando las tuberías en una bolsa. Sin embargo, Greg decidió que el vaso que usaba viniendo a clase era la mejor solución y la presentó con orgullo como la mejor solución. Él se sentía bien y realizado. Lo justificó sonriente basándose en los años de evolución de la taza. Obviamente este tipo de pensamiento todavía nos tendría comprando las antiguas "cajas de hielo" en lugar de refrigeradoras.

2. "Satisfactores": Durante toda una mañana Alex fue parte de una sesión de lluvia de ideas, para identificar los métodos alternativos para tener un sensor cilíndrico cayendo dentro de un conducto y bajo los efectos de la gravedad entrar a un canal lateral. Una de sus primeras ideas fue tener el sensor cilíndrico pivoteando sobre su centro de tal manera que podría redirigirse a la rama lateral. Su lenguaje corporal transmitió el mensaje "Vean, Yo tengo la mejor solución". Durante toda la sesión reaparecía su idea con casi sin variaciones, a pesar de que el resto del equipo continuó explorando y visualizando enfoques nuevos y diferentes. No es necesario mencionar que sin el equipo era obvio que Alex habría impuesto su solución como la solución. No fue sorprendente que el equipo presento una de las más excitantes soluciones después que Alex ya estaba satisfecho con el suyo.

3. Optimizadores: Mientras se busca una aguja en un pajar, los "satisfactores" después de encontrar alguna, la aclaman como la mejor encontrada. Los Optimizadores, por otro lado, seguirán buscando agujas adicionales hasta encontrar la mejor de todas. Barb estaba encargada de hacer una simulación numérica para una combinación de bomba de calor y calentador de agua y verificar el modelo contra pruebas reales. El propósito era estimar el consumo anual en diseños alternativos. El proyecto fue diseñado para durar 12 meses. Un modelo simplista fue terminado a principios del proyecto y demostró tener las tendencias correctas. Sin embargo, Barb estaba determinada a diseñar el "modelo perfecto" para satisfacer todas las expectativas. El proyecto duró más del tiempo planeado. Finalmente solo debido a un ultimátum, llego a su fin. El resultado fue un hermoso informe de más de 420 páginas. Lamentablemente mientras más complejo, es sin duda mucho más sofisticado, el primer (modelo ordinario y simplista) fue justo el adecuado. Lo óptimo no es siempre el más adecuado. (O, en otras palabras, no necesitamos un martillo para clavar una tachuela).

4. Miedo al término; miedo al fracaso: Obtener una solución a un problema de ingeniería conlleva a aplicarlo. Y aplicarlo implica riesgo al fracaso. El temor al fracaso puede tener un efecto paralizante, al igual que el temor al éxito, un bloqueo más sutil a la creatividad. Vic se convirtió en jefe de departamento, donde el miedo a la crítica de errores y el fracaso inhibía la creatividad. Se puso un lema que decía: "Las recompensas no son retenidas para los que se equivocan sino para los que se niegan a tratar" y estímulos verbales se dan a las fallas al menos una por día, siempre que cada una de ellas sea nueva. En meses la actitud dio un giro al alrededor con nuevos programas y nuevas ideas enriqueciendo el departamento entero.

5. Miopía funcional: Wesley fue contratado con una compañía para determinar los métodos de reducción del ruido de un compresor de tornillo. Wesley era un experto en dinámica de gases y acústica y por más de dos años trabajó en la identificación de las fluctuaciones de presión, las correspondientes fuentes acústicas y su transmisión a través de los gases de escape y de la carcasa como ruido. Técnicamente era un reto y afortunadamente estaba dentro de su área de especialización. Por la necesidad de cambiar partes se desmonto el compresor, y un técnico noto marcas en los dientes de uno de los tornillos. Se hizo un gran gulp. En poco tiempo se hizo obvio que el problema era el castaño de los dientes, y no las fluctuaciones de presión la causante del ruido. La miopía funcional es una consecuencia de no mirar más allá de la propia zona de comodidad o experiencia cuando se buscan soluciones a un problema.

6. Resolver el problema equivocado: Tom debía encontrar los efectos de las características de una válvula de inversión en el rendimiento de una bomba de calor. La evidencia anecdótica era que la fuga es la causa principal de las pérdidas de capacidad. El trabajo siguió, desarrollo bancos de prueba, se tomaron medidas a las fugas. Hasta que de pronto, alguien tomo en cuenta la diferencia en temperatura entre la alta y la baja presión de refrigerantes y encuentran perdidas en la transferencia de calor mucho más grandes que los efectos de la fuga. La satisfacción de poder abordar las principales fuentes de rendimiento no cubre el humilde reconocimiento del tiempo que se había centrado en el problema

equivocado. En lugar de preguntarse “¿Donde están las fuentes de pérdida de rendimiento?” Tom se preguntó “¿Cuáles son los efectos de la fuga en el rendimiento?” y limitó la creatividad en el proceso.

7. Datos de entrada incorrectos: Se ha dicho muchas veces, “basura que ingresa, basura que sale”, pero esto va más allá. Incluye el uso ya sea de insuficientes o demasiados datos. Jerry estaba evaluando el rendimiento de una configuración de rotación de fluidos, en una época donde no había ninguna indicación clara de cuales son los parámetros independientes que afectan al flujo. También estaba encargado de realizar pruebas con diferentes prototipos donde algunos de los parámetros independientes controlados podían ser alterados. El enfoque clásico es considerar a todos los grupos pertinentes sin dimensiones (como Reynolds, Froude, Rossby y otros) y experimentalmente obtener relaciones entre ellos. En el caso de Jerry considero demasiados parámetros independientes como pertinentes. Esto aumentó las pruebas que tuvo que tomar por casi una orden de magnitud y tomo un año de su vida. ¡Más no es siempre lo mejor!

8. Abordar los síntomas en lugar de la causa: Tim estaba encargado de reducir el ruido de una fuente pulsante. Los síntomas incluyen una gran onda acústica pulsante a la salida del tubo de escape de un dispositivo. El objetivo fue reducir la amplitud de las pulsaciones a través de control activo del ruido. Tim, sin embargo, era capaz de pensar más allá de los datos. Sin conocimiento de sus supervisores, durante un fin de semana (sin críticas no solicitadas) corto una sección de una tubería de conexión entre una válvula de lengüeta y el cuerpo principal del dispositivo y lo reemplazo por una sección de un tubo interior de bicicleta. Lo que sospechaba era correcto. Se concentro en la fuente (es decir, los impactos de la válvula de lengüeta) y redujo el ruido considerablemente más a través del aislamiento de la fuente que los intentos de control activo del ruido.

9. Mantener lo imposible imposible: Cerramos nuestro resumen con unos pocos ejemplos de bloqueos a la solución creativa de problemas con dos citas: “Si alguien de más de 50 años de edad te dice que algo se puede hacer, entonces créele. Sin embargo si una persona de más de 50 años de edad te dice que algo es imposible, entonces por todos los medios no le creas”. La segunda: "Dios no ha hecho posible para los seres humanos en pensar en lo imposible". No siempre creas que lo que parece imposible no es posible. Si no todavía estaríamos sin aviones.

CONCLUSIONES

Métodos Clásicos, como libros de texto en solución de problemas no son aplicables en la práctica de la ingeniería. En cambio se convierte en esencial la incorporación de soluciones creativas y la dinámica de ideación. A su vez, esto implica la necesidad de reconocimientos y superar los bloqueos a la creatividad. La creatividad incorpora características de novedad y valor. Y ese es el efecto que nuestra industria se enfrenta a ser mientras servimos a nuestros clientes en el área general de aire acondicionado, refrigeración y calefacción.

AGRADECIMIENTOS

El documento se basa en una presentación anterior con el IATC (Internacional Appliance Technical Conference) y en la evolución de conferencias a través ASHRAE's DL (Distinguished Lectures) programa de ASHRAE. El documento IATC fue realizado en colaboración con Joe Adamski y Lori Schug. La mayoría de los ejemplos son debido a la experiencia del autor en la investigación y en el curso sobre "The Creative Process in Engineering". Los estudiantes de Purdue han hecho esto posible durante un período de diez años con gratitud son reconocidos.