

Estamos en invierno, cerca de un pequeño pueblo en la cima de una montaña. De noche, el aire es muy helado y las temperaturas descienden de 0°C. Bajo estas condiciones, se congela la humedad del aire y el hielo cubre todo, incluyendo el tendido de alta tensión. Además, nieva ocasionalmente, y la nieve caída durante la noche se acumula sobre los cables. Si la nieve es derretida por el sol, entonces ésta se convierte en hielo durante la noche. Día tras día, crece la capa de hielo, y su peso tensiona los cables, que podrían romperse. Si esto sucede, los habitantes del pueblo no tendrían electricidad en sus casas hasta que el daño sea reparado. Se necesita entonces una solución.



Figura 1 – Cables eléctricos cubiertos de hielo

La primera solución propuesta fue el incrementar el diámetro de los alambres de cobre, pero se sabe que el cobre es muy caro y que sería necesario reemplazar todas las líneas de tensión. Otra solución sería enterrar los cables bajo tierra para protegerlos, pero la inversión no podría ser financiada por el pequeño pueblo; tampoco el aumentar al doble la cantidad de postes existentes actualmente.

Uno de los técnicos sugirió explotar el calor generado por el efecto Joule por los alambres; no obstante, sería necesario aumentar la intensidad de corriente, lo que implicaría un aumento del consumo de energía.

Se debe encontrar una solución no estándar, sigamos entonces un proceso de resolución de problemas basado en TRIZ.

Cuando no está claro cómo resolver un problema o cuál es el problema a resolver, entonces el Operador de Sistema (párrafo 1.3.3.5) corresponde a la primera herramienta a usar, ya que permite escoger el problema correcto, mediante el análisis de la situación inicial desde un punto de vista temporal o de cadena causa-efecto. Debemos comenzar con la definición de la caja de referencia (presente del sistema). No es significativo el nivel de detalle o la etapa temporal escogida como caja de partida; además, es extremadamente importante llevar a cabo un análisis consistente durante la búsqueda de problemas de círculo vicioso en otras cajas.

Tenemos el problema inicial, que es la formación de mucho hielo sobre los cables eléctricos, y esto produce la ruptura de los cables, de modo que podemos escoger este escenario como la caja central de nuestro operador de sistema, y los elementos a enlistar serían únicamente cables, hielo

y corriente, y tenemos que considerar la siguiente pregunta: ¿cómo pueden los elementos del “presente del sistema” contrarrestar el efecto perjudicial del hielo sobre los alambres? Ahora podemos completar el esquema según se representa en la figura 2.

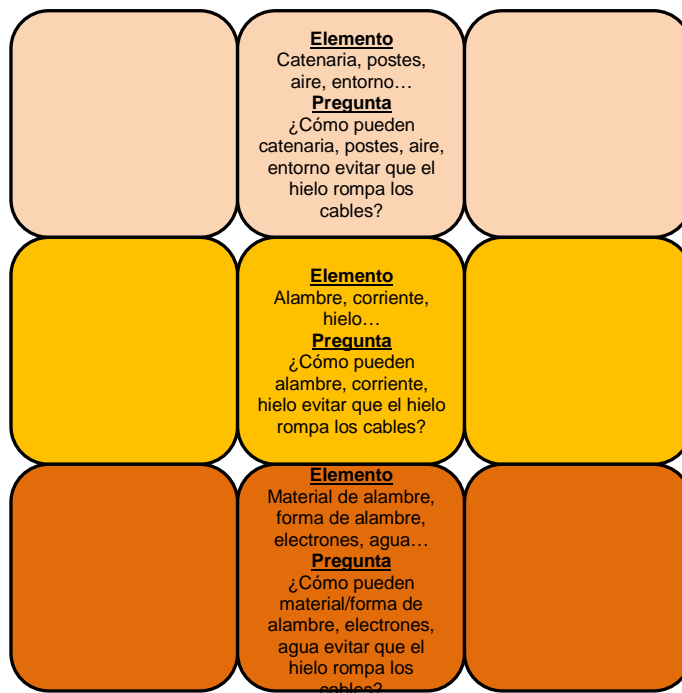


Figura 2 – búsqueda de problemas de círculo vicioso: columna presente del operador de sistema

Recuerde que todas las cajas en una misma columna se caracterizan por poseer el mismo “marco temporal”, mientras que todas las cajas en una misma fila representan un nivel de sistema idéntico; vale la pena recordar que cada columna se caracteriza por el mismo problema/pregunta, mientras los sujetos, es decir, los recursos para resolverlo, cambian.

Enfocando nuestra atención sobre una columna en el lado izquierdo de la matriz (pasado) implica buscar oportunidades de prevención: el tiempo perteneciente a las cajas de la izquierda es aquel en el aún no se forma una gran cantidad de hielo, pero se encuentra en la forma de agua, nieve o humedad, y obviamente una delgada capa de hielo.

De la misma manera, centrando nuestra atención en el lado derecho de la matriz (futuro) implica admitir que el problema presente en la columna del presente no ha sido resuelto, y se debe buscar en el futuro un abordaje compensativo. En este caso, en la columna de la derecha, se asume que el hielo ha quebrado los cables.

Como consecuencia, se asocian diferentes preguntas/problemas específicos a las diferentes celdas de la matriz de Operador de Sistema. El esquema completo se muestra en la figura 3. Vale la pena notar que en una situación general el Operador de Sistema puede estar constituido por más de 9 cajas, dado que cada subsistema se puede dividir en sub-subsistemas, teniendo siempre cada marco un pasado y un futuro. Se sugiere detener el análisis cuando la pregunta lleva la tarea fuera del rubro/rol del solucionador de problema (por ejemplo, ¿cómo cambiar las condiciones climáticas?)

| | | |
|--|---|---|
| <p>Elemento Catenaria, postes, aire, entorno...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden catenaria, postes, aire, entorno evitar que se forme el hielo sobre los cables?</p> | <p>Elemento Catenaria, postes, aire, entorno...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden catenaria, postes, aire, entorno evitar que el hielo rompa los cables?</p> | <p>Elemento Catenaria, postes, aire, entorno...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden catenaria, postes, aire, entorno lograr que pase la corriente con los cables cortados?</p> |
| <p>Elemento Alambre, corriente, hielo...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden alambre, corriente, hielo evitar que se forme el hielo sobre los cables?</p> | <p>Elemento Alambre, corriente, hielo...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden alambre, corriente, hielo evitar que el hielo rompa los cables?</p> | <p>Elemento Alambre, corriente, hielo...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden alambre, corriente, hielo lograr que pase la corriente con los cables cortados?</p> |
| <p>Elemento Material de alambre, forma de alambre, electrones, agua...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden material/forma de alambre, electrones, agua evitar que se forme el hielo sobre los cables?</p> | <p>Elemento Material de alambre, forma de alambre, electrones, agua...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden material/forma de alambre, electrones, agua evitar que el hielo rompa los cables?</p> | <p>Elemento Material de alambre, forma de alambre, electrones, agua...</p> <p>Pregunta ¿Cómo pueden material/forma de alambre, electrones, agua lograr que pase la corriente con los cables cortados?</p> |

Ahora debemos escoger dentro de nueve (posiblemente más) problemas específicos diferentes, todos apuntando al lograr el objetivo final: proveer un servicio eléctrico regular a los habitantes del pequeño pueblo en la montaña.

Comencemos con la caja central.

Para entender mejor cómo funciona el sistema, y cómo aparece el problema, es de utilidad elaborar un modelo funcional del sistema bajo las condiciones de operación correspondientes a la caja de Operador de Sistema escogida.

En este caso, el modelo será muy simple, dado que tenemos sólo un par de elementos. Tenemos que comenzar con la representación de la función útil (f.u.) del sistema: los alambres conducen la corriente. Luego, podríamos agregar otros elementos presentes que forman parte de la función útil o son consecuencia de ésta, y eventualmente aquellos que producen o forman parte de la función perjudicial, es decir, el hielo rompe los cables. Cuando hayamos enlistado todos los elementos, tenemos que considerar todas las acciones ejecutadas. Este resultado se presentada en la figura 4.

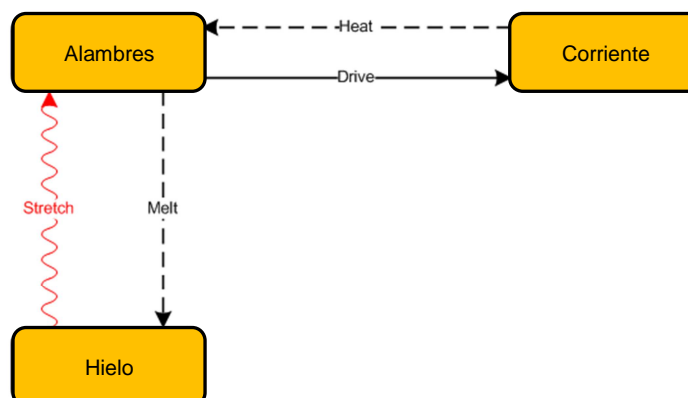


Figura 4 – Modelo funcional que describe la situación en la caja del presente del sistema del Operador de Sistema

Para evitar que el hielo rompa los cables, podemos usar el calor generado por la corriente, a pesar de que no sea suficiente como para derretir el hielo. Podemos entonces pensar en aumentar la intensidad de corriente, con el fin de incrementar el efecto Joule, y de este modo, la temperatura de los alambres. Ahora debemos elaborar un modelo funcional bajo el supuesto de alta corriente fluyendo a través de los alambres (figura 5).

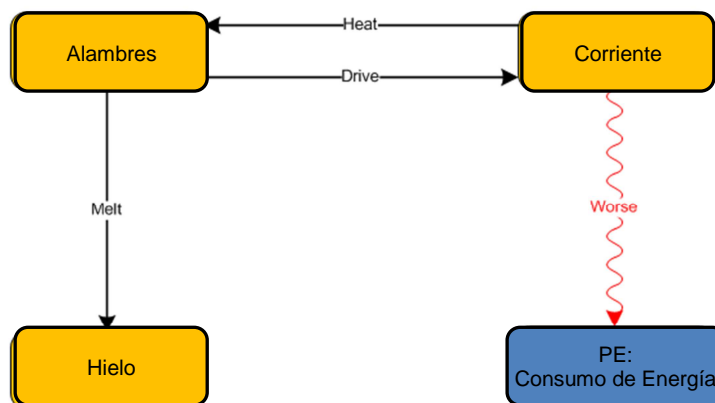


Figura 5 – Modelo funcional del sistema cuando se aplica alta tensión

Como se representa en la figura 5, una intensidad de corriente mayor no causa directamente una función perjudicial sobre algún elemento, simplemente el empeoramiento de un parámetro de evaluación. Tenemos entonces una contradicción: de hecho, si la intensidad de corriente tiene un alto valor se resuelve el problema del hielo, pero aparece una función perjudicial hacia el consumo de energía; además, si la intensidad de corriente es baja, el calor generado por el efecto Joule no resulta suficiente como para derretir el hielo. El modelo de esta contradicción se representa en la figura 6.

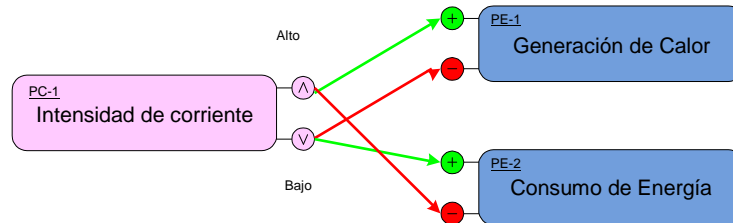


Figura 6 – El modelo OTSM de una contradicción (párrafo 5.1.2)

Siguiendo los pasos sugeridos por ARIZ (capítulo 3), se deben identificar la Zona Operacional y el Tiempo Operacional.

La Zona Operacional se puede considerar como la suma de las superficies externas de los cables, las superficies del hielo en contacto con éstos, y la sección de los cables a través de la que pasa corriente. Mientras que el Tiempo Operacional es el intervalo en el que el hielo tensa los cables, en el que se forma el hielo y en el que se transmite la corriente.

Ahora, según explicado en el párrafo 5.3 del libro TETRIS, podemos aplicar los Principios de Separación para resolver la contradicción física. La primera es la separación en el tiempo: podemos aplicar este principio si la siguiente pregunta tiene una negativa de respuesta: ¿es cierto que queremos un alto valor de intensidad de corriente durante todo el tiempo operacional, y que queremos un valor bajo (normal) de intensidad de corriente durante todo el tiempo operacional? Está claro que la respuesta aquí es “¡No!”.

De hecho, necesitamos intensidad de corriente adicional únicamente cuando el hielo se extiende sobre los cables, e intensidad de corriente normal durante el resto del tiempo. ¿Cuáles son los recursos de súper-sistema o directamente disponibles para cambiar la intensidad de corriente de acuerdo según el esfuerzo mecánico sobre los cables? Aparece así un nuevo problema: ¿cómo es posible medir la tensión mecánica de los alambres o una sobrecarga, para cambiar la intensidad de corriente? Se podrían encontrar soluciones posibles usando la Clase 4 de la Solución Estándar (capítulo 4).

El segundo principio para superar contradicciones físicas es la separación en espacio. Similarmente al anterior, este principio es relevante en la situación específica si la siguiente pregunta tiene una respuesta negativa: ¿es cierto que queremos un alto valor de intensidad de corriente en toda la zona operacional, y que queremos un bajo valor de corriente en toda la zona operacional?

De hecho, se necesita un valor alto de intensidad de corriente únicamente en la superficie de los alambres, con el fin de calentar los cables y derretir el hielo, mientras que un valor bajo (normal) de intensidad de corriente se requiere en el resto de la sección de los alambres, para dar suministro al pueblo y evitar desperdicio de energía.

¿Qué tipo de recursos tenemos dentro del sistema, o fácilmente accesibles desde el súper-sistema para crear valores diferentes de densidad de corriente en la superficie de los alambres y su sección interna?

Si el conocimiento personal/del equipo no es suficiente para responder este tipo de pregunta, se

puede tomar en consideración otra herramienta de la base de conocimientos TRIZ, la Base de Datos de Efectos (párrafo 5.6.4), en la que podemos encontrar el efecto piel o superficie, que indica que si la corriente alterna tiene una alta frecuencia se puede esperar una mayor densidad de corriente hacia la superficie del conductor, en relación al núcleo.

Por ello, podemos calentar los cables donde realmente sea necesario, sin incurrir en un consumo de energía excesivo, mediante la imposición de una corriente adicional de alta frecuencia y baja intensidad en el suministro de energía regular de 50-60Hz.

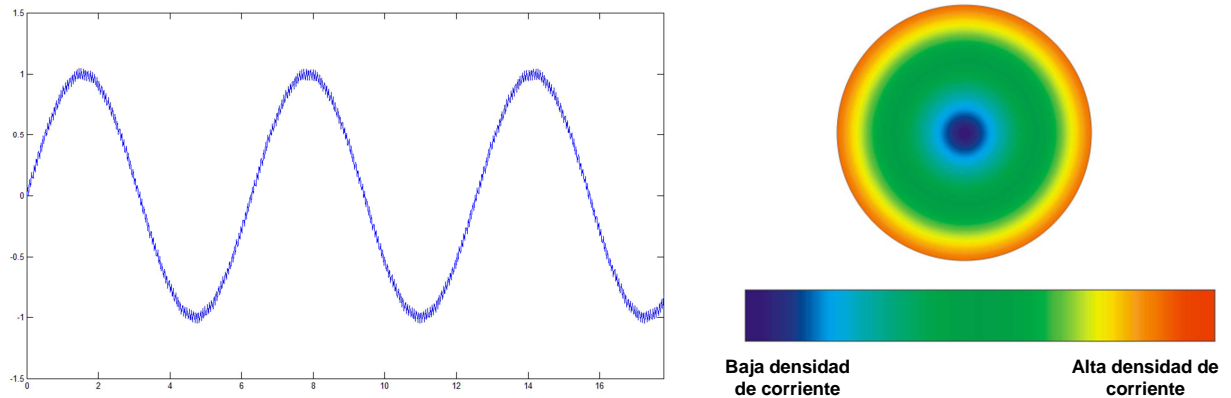


Figura 7 – En la izquierda, la onda sinusoidal principal traslapada con una corriente adicional de alta frecuencia; en la derecha, la distribución de la densidad de corriente en la sección transversal del alambre.