



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Innovación del proceso de ascenso y
descenso de pasajeros de un vagón de tren
del Metro mediante el método TRIZ**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Héctor Arturo Curiel Alvarado

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a las personas que han sido mi roca a lo largo de mi vida, brindándome un apoyo inquebrantable desde mi infancia hasta el día de hoy. A mi amado padre, Héctor, quien siempre ha sido mi ejemplo de perseverancia y sabiduría, y a mi querida madre, Luz, cuyo amor y aliento han sido mi faro en los días oscuros. A mi hermano, Diego, camarada y gran persona, por su constante cariño y amabilidad.

A mis amigos, quienes han sido mi red de seguridad en los momentos más difíciles y quienes, con su amistad y sus brillantes ideas, han iluminado mi camino en la realización de esta tesis. Vuestra amistad ha sido un tesoro invaluable.

A mis profesores, quienes han guiado mi camino académico y me han ayudado a forjar mi mente, carácter y personalidad, les agradezco por su dedicación y pasión por la enseñanza. Cada lección que me brindaron ha contribuido a mi crecimiento y desarrollo como persona.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de todas estas personas en mi vida. A cada uno de ustedes, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento y cariño.

Además, quiero expresar mi agradecimiento al lector por tomarse su tiempo en leer este trabajo, especialmente si lo hace con el propósito de inspirarse en la elaboración de su propia tesis. La investigación y el conocimiento compartido son la base de nuestro crecimiento académico y personal, y su interés en este trabajo es muy apreciado.

Este trabajo fue desarrollado con fines de realizar “algo diferente”, fuera de lo común, siendo un parteaguas para muchos compañeros que deseen salir de su zona de confort y busquen otros rumbos, otros temas de investigación, dado que la ingeniería no cierra puertas al conocimiento y no se limita su aplicación a un solo campo. En este contexto, se explorará cómo una de las herramientas ampliamente empleadas en el campo del diseño puede expandir su aplicación en otros ámbitos no comúnmente abordados.

Índice.

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 1 |
| Objetivos..... | 1 |
| Alcance..... | 2 |
| Previo..... | 2 |
| Hipótesis..... | 2 |
| 1. Breve explicación de la Metodología TRIZ..... | 3 |
| 1.1. ARIZ (Algoritmo de Resolución de Problemas de Inventiva)..... | 4 |
| 1.2. Programas informáticos..... | 7 |
| 1.2.1. CREAX Innovation Suite 3.1. | 7 |
| 1.2.2. TRIZ40..... | 8 |
| 1.3. Aplicación de TRIZ en problemas no técnicos..... | 8 |
| 2. Breve historia del STC Metro de la CDMX..... | 12 |
| 2.1. Contexto actual a la problemática..... | 13 |
| 3. Definición del problema..... | 15 |
| 3.1. Descripción..... | 15 |
| 3.1.1. Configuración de las estaciones del metro de la CDMX..... | 15 |
| 3.1.2. Proceso de ascenso y descenso..... | 19 |
| 3.2. Recursos..... | 23 |
| 3.3. Diagrama de funciones..... | 31 |
| 3.3.1. Tipo de interacciones..... | 31 |
| 3.3.2. Diagramas por nivel sistemático..... | 33 |
| 4. Solución mediante TRIZ..... | 40 |
| 4.1. Idealidad..... | 41 |
| 4.1.1. Resultado Final Ideal (IFR)..... | 42 |
| 4.2. Enunciados contradictorios..... | 46 |
| 4.2.1. Contradicciones físicas y técnicas..... | 46 |
| 4.2.2. Definición de las contradicciones del proceso..... | 47 |
| 4.2.3. Determinación de los parámetros de cambio..... | 49 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.3. | Proceso Creativo (Uso de los 40 principios de solución). | 52 |
| 4.3.1. | Lluvia de Ideas. | 54 |
| 4.4. | Análisis Sustancia – Campo (Su-Field). | 62 |
| 4.4.1 | Modelos Su-Field. | 64 |
| 5. | Análisis de Resultados. | 79 |
| 5.1. | Construcción de la solución única. | 79 |
| 5.1.1. | Descripción de la solución. | 80 |
| 5.1.2. | Implementación de la solución en terminales. | 84 |
| 5.2. | Análisis Complementario. | 85 |
| 5.2.1. | Costo e inversión. | 86 |
| 5.2.2. | Capacitaciones. | 86 |
| 5.2.3. | Sistema de comunicación. | 87 |
| 5.2.4. | Botones de accesibilidad. | 87 |
| 5.2.5. | Adquisición y compra de trenes reconfigurados. | 89 |
| 5.2.6. | Aplicación de TRIZ a problemas complejos. | 89 |
| | Conclusión. | 91 |
| | Referencias. | 93 |
| | Bibliografía. | 95 |
| | Anexo. | 96 |
| | A1. Mapa de la Red del STC Metro. | 96 |
| | A2. Los 39 parámetros de cambio. | 97 |
| | A3. Los 40 parámetros de solución. | 102 |
| | A4. Matriz de soluciones. | 106 |
| | A5. Reporte del proyecto elaborado por <i>CREAX</i> . | 107 |

Introducción.

Hasta 2023, la red de transporte Sistema de Transporte Colectivo Metro ha brindado servicio durante cincuenta años, marcando un hito importante en su historia al atender a millones de pasajeros a lo largo de sus tres primeras líneas. Esta contribución ha sido sumamente beneficiosa para los habitantes de la capital, quienes han encontrado en el metro una forma práctica de moverse por la ciudad y su área metropolitana. Y aunque ha habido mejoras en el transporte público de la Ciudad de México, el paso del tiempo también está comenzando a cobrar factura debido a su estado y la cantidad de personas que lo usan está aumentando, lo que está teniendo un impacto negativo.

En los últimos años, el sistema ha enfrentado dificultades debido a su estado actual. Esto se debe a que varios componentes, como trenes, sistemas de control y comunicación, han llegado al final de su vida útil. Además, el número de usuarios en la red ha aumentado significativamente, llegando al punto en el que algunas estaciones están experimentando una saturación. Esto básicamente representa un problema global para el metro.

Uno de los problemas derivados del aumento gradual de personas utilizando el metro ocurre en estaciones muy concurridas, donde se producen intercambios de pasajeros al entrar y salir de los trenes. En este momento, los usuarios se mueven sin restricciones ni esperas, lo que genera inseguridad, desorganización e ineficiencia, especialmente si el tiempo para el intercambio es limitado según el conductor.

Para abordar esta situación, se introduce la metodología TRIZ como una posible solución para generar ideas innovadoras. Esta metodología se presenta a continuación, con el propósito de mejorar la efectividad de los sistemas y transformar la forma en que se abordan estos desafíos en las estaciones de alta afluencia.

Objetivos.

El propósito de esta investigación es emplear la metodología TRIZ para promover la generación de soluciones creativas y eficientes utilizando las herramientas que proporciona dicha metodología al enfrentar el problema de inseguridad e ineficacia del proceso de ascenso y descenso de pasajeros en la red del STC Metro. El enfoque principal radica en aprovechar al máximo los recursos y conceptos de TRIZ para abordar desafíos de manera novedosa y efectiva.

Alcance.

El alcance de este proyecto se verá limitado por los recursos disponibles y por un análisis que se centrará únicamente en comprender el proceso de intercambio de pasajeros en estaciones con alta afluencia y la aplicación de TRIZ en la problemática central. En consecuencia, se llevará a cabo el estudio de los elementos presentes en los vagones de los trenes y en los andenes de estaciones con mayor cantidad de pasajeros en tránsito, especialmente en aquellas que sirven como puntos de correspondencia. Además, las soluciones que se obtendrán serán preliminares y no se desarrollará una solución con gran lujo de detalle.

Previo.

Se realizará un ejercicio creativo enfocado en mejorar la eficiencia y seguridad del proceso de ascenso y descenso de pasajeros en los vagones del Metro de la Ciudad de México. Para lograr esto, se utilizará la herramienta de TRIZ y, en un principio, se permitirá reconocer tanto los recursos como las limitaciones del proceso que podrían afectar la búsqueda de soluciones. De esta manera, se podrán identificar fácilmente las contradicciones técnicas o físicas que podrían surgir durante el proceso creativo.

Posteriormente, al obtener una generalización de las soluciones con el uso de la matriz de los 40 principios, serán discutidas y analizadas para llegar a una solución única y óptima que logre innovar este proceso de forma especulativa. Una vez explicada la solución óptima, se realizará el análisis del sistema en general para reflexionar y comentar si es que el nuevo proceso podría lograr la innovación.

Hipótesis.

Utilizando la metodología TRIZ como la principal herramienta de innovación y mejora continua, se podría desarrollar soluciones sujetas a la innovación para los problemas más importantes relacionados con la seguridad de los usuarios y la eficiencia en el proceso de ascenso y descenso de pasajeros en las estaciones de metro con alta afluencia de personas. Para lograr esto, es necesario identificar y comprender tanto los recursos y limitaciones del sistema, así como los otros componentes del proceso y del supersistema, con el fin de fomentar la creatividad y el análisis de las soluciones obtenidas.

1. Breve explicación de la Metodología TRIZ.

Conforme al Instituto Altshuller para Estudios acerca de TRIZ (Altshuller Institute For TRIZ Studies):

La metodología conocida como TRIZ (Teoría de la Resolución de Problemas Inventivos) es una tecnología disruptiva de primer nivel para la innovación que puede ser usada en muchos ámbitos industriales y científicos. TRIZ es un proceso sistemático que desarrolla habilidades críticas del pensamiento y promueve la creatividad y la innovación (AITRIZ, s.f., www.aitriz.org/triz).

La metodología TRIZ representa una innovación revolucionaria que ha demostrado su altísima eficacia en una variedad de sectores tanto industriales como científicos. Fue concebida por el ingeniero soviético Genrikh Altshuller en 1946, luego de llevar a cabo un análisis exhaustivo de numerosas patentes y al descubrir patrones de desarrollo en las soluciones ingeniosas. Estos patrones pusieron de manifiesto la presencia de un tipo de enfoque general para abordar problemas, en contraste con un enfoque creativo al azar. Este descubrimiento condujo al importante hallazgo que hoy en día se conoce como los 40 principios de innovación. Estos principios se encuentran incansablemente reiterados en los informes que sometió a revisión.



Figura 1.1: Fotografía de Genrikh Altshuller, obtenida del sitio web de AITRIZ.

Una vez que concluye la fase inicial de su descubrimiento, decide compartir sus hallazgos en publicaciones científicas especializadas. Estos resultados son acogidos de manera excepcional por la comunidad científica de aquel período.

De hecho, Altshuller expresó mediante una carta dirigida a Iósif Stalin, quien en ese momento ocupaba el cargo de primer ministro de la URSS, la importancia de introducir una asignatura sobre TRIZ en las instituciones educativas soviéticas. El propósito era brindar una

preparación adecuada a los graduados para que pudieran contribuir eficazmente a la creación de nuevo conocimiento. Esta acción desencadenó su detención y encarcelamiento durante 7 años, hasta el fallecimiento del dictador, debido a que Stalin interpretó este mensaje como un insulto al sistema educativo nacional. Tras su liberación de la cárcel, establece la primera escuela para inventores. A raíz de la emigración de talentos hacia Europa y Estados Unidos, se difunde la metodología TRIZ tal como es reconocida en la actualidad.

Hoy en día, numerosos profesionales altamente capacitados, como ingenieros especializados en diversas ramas, así como expertos en una variedad de campos que abarcan desde la ciencia y la tecnología hasta el ámbito empresarial, han incorporado gradualmente a su repertorio creativo la metodología conocida como TRIZ, que se destaca por su enfoque innovador en la generación de ideas. Este enfoque innovador se ha ido integrando de manera creciente en la resolución de una amplia gama de desafíos, abarcando dominios tan diversos como la ciencia, la tecnología, los asuntos sociales y el mundo empresarial, entre otros.

El fundamento esencial de TRIZ radica en su capacidad para identificar patrones evolutivos en sistemas técnicos y científicos, lo que a su vez facilita un análisis profundo de sus funcionamientos y problemáticas. A través de la dedicada exploración de principios fundamentales y leyes científicas, TRIZ ofrece un portafolio de herramientas y métodos meticulosamente estructurados. Estas herramientas y métodos, a su vez, sirven como una brújula para los pensadores innovadores, guiándolos en la creación de ideas realmente disruptivas y revolucionarias, que no solo abordan los síntomas de un problema, sino que trascienden las soluciones convencionales y abren puertas hacia nuevas fronteras de posibilidad. (Denault)

1.1. ARIZ (Algoritmo de Resolución de Problemas de Inventiva).

ARIZ es una parte fundamental de la metodología TRIZ. Es un conjunto de pasos y principios que guían a los usuarios a través de un proceso estructurado para resolver problemas de manera innovadora y creativa, de ahí proviene el nombre de algoritmo. ARIZ proporciona un enfoque sistemático para analizar y resolver desafíos técnicos y conceptuales, buscando soluciones novedosas a través de la identificación y eliminación de contradicciones en un sistema.

ARIZ ayuda a descomponer problemas complejos en elementos más manejables, identificar patrones de contradicción y encontrar soluciones mediante la aplicación de principios generales y técnicas específicas. A lo largo de sus diversas versiones y variantes, ARIZ ha evolucionado y se ha adaptado para abordar diferentes tipos de problemas.

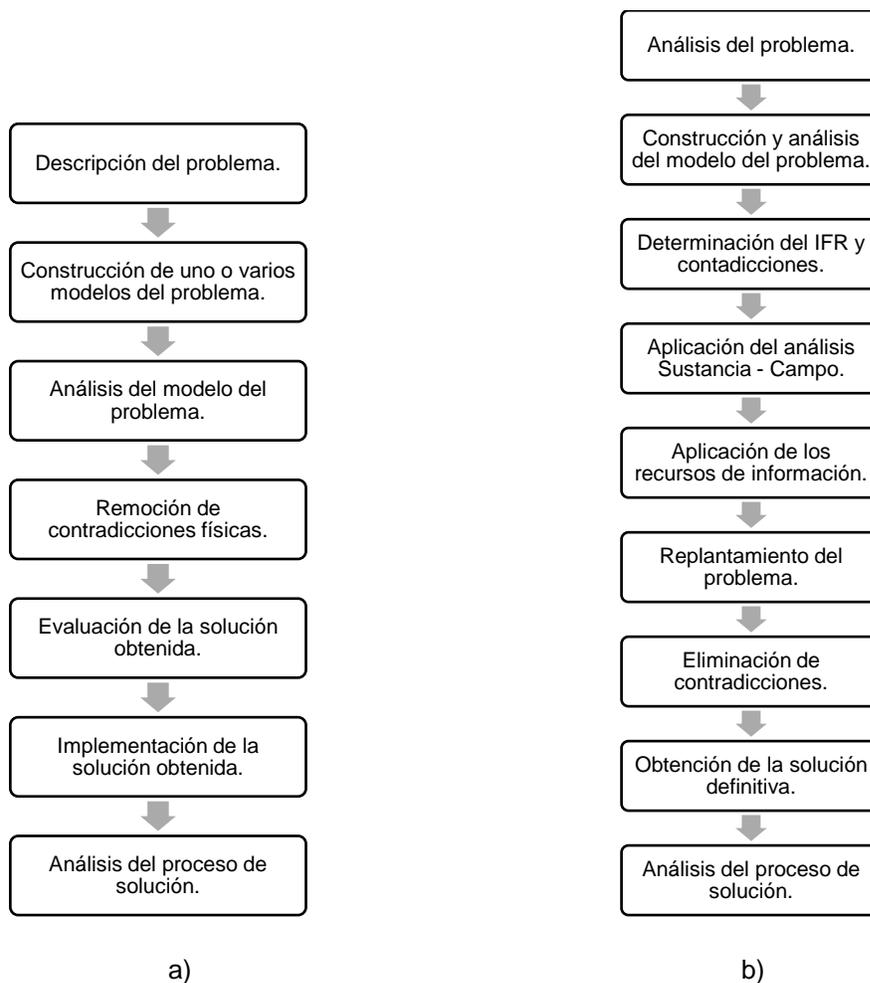


Figura 1.2: Diagramas con el procedimiento de los algoritmos a) ARIZ – 77 y b) ARIZ – 85, con la información obtenida de la obra *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Elaboración Propia

Existen variantes de ARIZ que difieren principalmente en el orden secuencial de los pasos que se siguen rigurosamente, y cada uno de estos pasos incorpora un procedimiento específico. La versión más reconocida es ARIZ – 77, denominada así debido al año de su desarrollo, 1977, al igual que sus versiones convencionales. Posteriormente, en 1985, surgió ARIZ – 85, que ampliaba el número de pasos de 7 a 9.

Se pueden encontrar algoritmos más sofisticados y elaborados, con un impacto notable en la mejora de sus procesos creativos. Un ejemplo de esto es el algoritmo ARIZ – 96, el cual ha generado dificultades en su comprensión y descripción para numerosos autores que abordan el tema de TRIZ. Esta complejidad ha llevado a que muchas personas modifiquen el orden de las estructuras de los algoritmos según su conveniencia, especialmente en el caso del ARIZ – 85,

adaptándolo de manera más funcional a sus necesidades individuales, aplicando mejoras en el algoritmo original. (Savransky, 2000)

En el software de CREAX, se describe un tipo especial de ARIZ, el cual busca que su implementación sea más clara y detallada. En la parte de selección de herramientas, el programa muestra el algoritmo con los siguientes pasos.

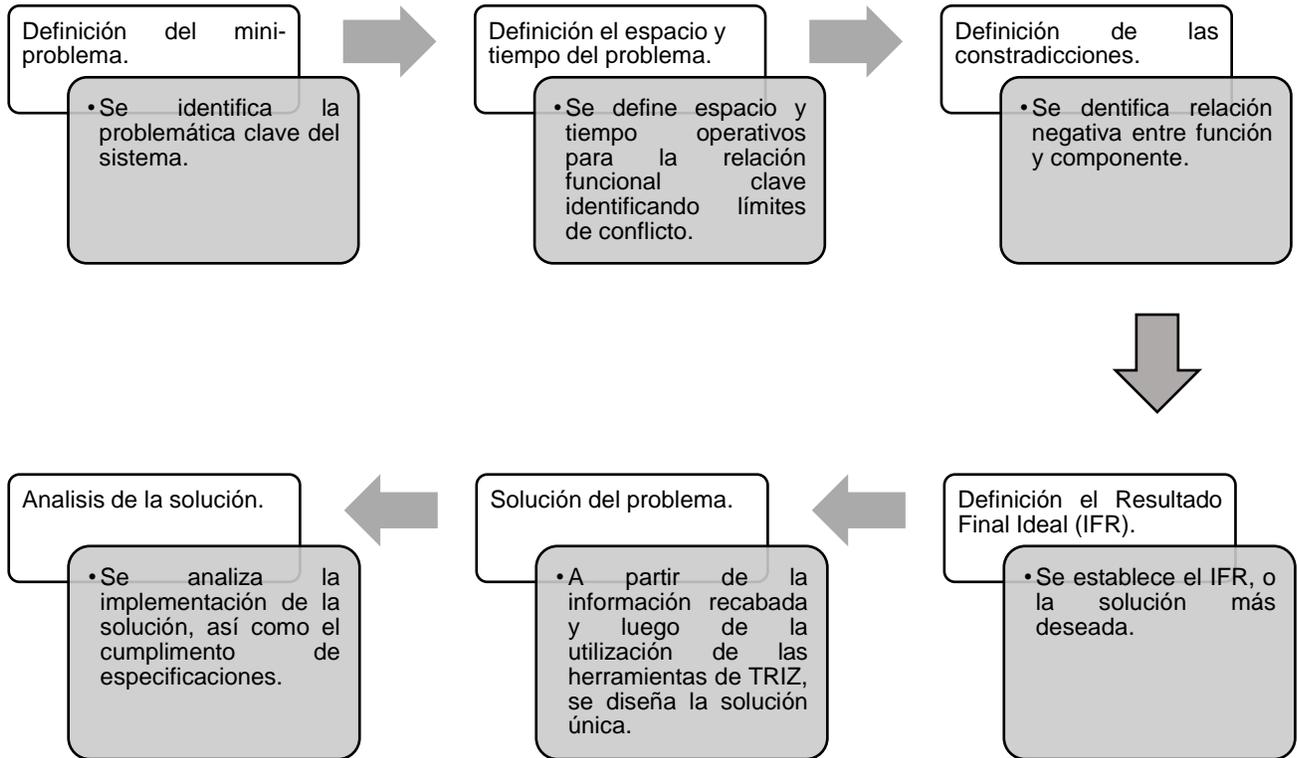


Figura 1.3: Diagrama con el procedimiento ARIZ que describe el software CREAX Innovation Suite en su herramienta de Select Tool. Elaboración Propia.

Se puede observar que este tipo de ARIZ se presenta de manera considerablemente simplificada, con una comprensión mejorada y un número reducido de pasos. Esta simplificación facilita la aplicación de las herramientas de TRIZ. Precisamente, este último modelo es el recomendado para abordar la resolución de problemas e impulsar la innovación en el proceso de intercambio de pasajeros en la red del metro. Esta elección surge debido al respaldo que brinda el software CREAX, el cual es reconocido por su versatilidad y apoyo en el proceso creativo. (CREAX, 2005)

1.2. Programas informáticos.

1.2.1. CREAX Innovation Suite 3.1.

El software es una creación de la compañía *CREAX Intelligence for Innovation*, con su sede central en Bélgica, en 2001. Su principal objetivo radica en la mejora del proceso de innovación de sistemas, brindando apoyo a los usuarios en todas las etapas creativas y guiándolos a lo largo de todo el proceso. Este programa se fundamenta en la metodología TRIZ, y también ofrece orientación a los usuarios novatos para que se familiaricen con dicha metodología.



Figura 1.4: Logotipo de la página del software *CREAX Innovation Suite 3.1* en 2003.

CREAX pone a disposición de los usuarios un amplio abanico de recursos originados a partir de la metodología TRIZ. Estos recursos fortalecen el enfoque creativo al abordar desafíos en el ámbito de la resolución de problemas técnicos, así como en el campo de las tecnologías de la información y los negocios. Dentro de la sección *Get Started* de la plataforma, se proporciona una introducción al software, un tutorial detallado sobre su operatividad, un manual exhaustivo y una definición concisa de TRIZ, según la perspectiva de la empresa responsable del desarrollo de esta solución. (*CREAX*, 2005)

Además, el programa puede generar informe que detalla las herramientas empleadas durante el proceso de edición en *Word*. Mediante el comando *View Report*, se puede elaborar tanto una descripción exhaustiva del problema inicial como una conclusión integral del proyecto. Además, es factible incorporar al documento las funciones de TRIZ que se utilizaron durante el proceso y que se deseen añadir.

El software podría considerarse desactualizado, ya que no ha recibido actualizaciones desde su fase de desarrollo. Esto se debe a su dependencia de una página que actualmente está inaccesible, lo que provoca errores de script y el conocido mensaje de error 404 ("not found"). A pesar de esta situación, el programa continúa cumpliendo su propósito de enriquecer el proceso creativo.

Aquellos instrumentos de TRIZ que no dependen de esta conexión a internet siguen siendo valiosos para abordar desafíos creativos. Además de que desempeñarán un papel fundamental en la ejecución del trabajo actual.

1.2.2. TRIZ40.

Es una página web perteneciente a la empresa *SolidCreativity* que facilita la adquisición de los principios de resolución de la matriz de funciones sin requerir la matriz de forma física o sin la necesidad de hacer la relación minúscula entre números. En este sitio, es posible introducir los parámetros técnicos que presentan contradicciones en su resolución. A través de este proceso, se aplican los métodos para obtener soluciones que buscan tanto mejoras como preservación de ciertos parámetros. Como resultado, se generan los valores de solución correspondientes a la matriz de funciones. (SolidCreativity, 2023)

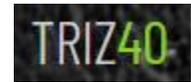


Figura 1.4:
Logotipo del sitio
web TRIZ 40.
www.triz40.com

1.3. Aplicación de TRIZ en problemas no técnicos.

Aunque la metodología TRIZ fue desarrollada originalmente como una herramienta aplicativa a problemas técnicos en sistemas inventivos o dispositivos, se ha observado que también puede ser utilizada con éxito en la resolución de problemas y búsqueda de innovación en sistemas no técnicos. Áreas como la psicología, administración, economía y hasta las artes han aplicado TRIZ exitosamente.

En el portal del AITRIZ, se habla de que, desde sus inicios, en un momento en el que la metodología era poco familiar y se estaba difundiendo, ya se daban situaciones en las que se dirigía la exploración de respuestas hacia diversos dilemas no exclusivamente técnicos. Estos problemas abordaban cuestiones cotidianas, preocupaciones ligadas a la salud, el ámbito deportivo y artístico, además de brindar apoyo a estudiantes con dificultades académicas. (AITRIZ)

A principios de los años 80, se registran enfoques que empleaban "paralelismos" para interpretar lo no técnico como técnico en la resolución de problemas. No obstante, Altshuller demostró desinterés hacia la aplicación de tales reasignaciones, ya que consideraba fundamental desarrollar la metodología de la manera en que fue gestada, sin cambio alguno.

Aquí es el punto en el que los investigadores Boris Zlotin y Alla Zusman (2000) entran en juego. (Zusman, Kaplan, Visnepolschi, Proseanic, & Malkin, 2000) En aquella época, al examinar las aplicaciones de TRIZ en la resolución de problemas no relacionados con la tecnología. Ellos introdujeron dos categorías de herramientas que TRIZ proporciona mediante el algoritmo previamente definido:

- Emplear herramientas que posibiliten la evaluación de la situación, desarrollando modelos o ecuaciones que la caractericen, tales como el ARIZ y el análisis de Sustancia – Campo (Su-Field).
- Obtener conocimiento mediante la aplicación de los 40 principios de resolución de problemas o tendencias, a medida que los sistemas se transforman o evolucionan.

Luego de este análisis, Zlotin y Zusman llegaron a las siguientes conclusiones:

- Las semejanzas en la evolución de distintos sistemas tecnológicos, tal como identificó Altshuller, pueden ser ampliados hacia diversas esferas no técnicas. Un ejemplo reside en los fundamentos de TRIZ, donde conceptos como la idealidad, las contradicciones, ARIZ y el enfoque sistemático son totalmente aplicables a situaciones y problemas no técnicos. Eventualmente, estas consideraciones llevaron a una definición de Patrones Universales de Evolución.
- Se puede emplear algunos de los 40 principios de resolución, que surgen de los datos de patrones técnicos de innovación, en principios de carácter universal. Esto está directamente relacionado con la naturaleza del sistema en el que se busca introducir innovación.

A partir de estas conclusiones, se ideó un enfoque que, facilita la dirección, tanto la resolución del problema como el desarrollo del sistema en aspectos no relacionados con la técnica:

- Analizar los patrones, el enfoque ARIZ y diversas metodologías de resolución de problemas en el contexto de TRIZ dentro de las áreas no técnicas identificando su aplicabilidad y su adaptabilidad dentro del campo de estudio.
- Remitir los patrones de otras áreas dentro de TRIZ, identificando aplicabilidad y adaptabilidad en TRIZ.

Este novedoso enfoque impulsó significativamente la ampliación de TRIZ y estableció un fundamento compartido para abordar problemas en distintos campos, por ejemplo:

- Se creó un sistema universal y versátil de patrones de evolución que tiene aplicaciones en la resolución de cuestiones científicas.
- Se diseñaron métodos destinados a mejorar la seguridad en diversos contextos.

- Se formularon las teorías evolutivas de organizaciones en el marco de la implementación de TRIZ para abordar desafíos sociales, empresariales y de gestión.
- Se desarrollaron algoritmos y software para la implementación de TRIZ, incluyendo programas ampliamente reconocidos como *TRIZSoft* o *CREAX Innovation Suite*.
- Se dio origen a la Teoría de Evolución Directa.
- Se llevaron a cabo aplicaciones en situaciones relacionadas con la educación infantil.

De hecho, la difusión de TRIZ ha alcanzado distancias significativas. Tanto es así que incluso empresas cuya orientación no es precisamente enfocada en el ámbito tecnológico, como es el caso de TRIZ Arte, una firma con base en la ciudad de Singapur, especialistas en el campo del diseño de interiores, están adoptando y promocionando esta metodología con una descripción de enfoque más amplio y holístico.

TRIZ, Teoría de solución a problemas inventivos, es una filosofía de resolución de problemas basado en lógica, datos e investigación. TRIZ ha derivado los patrones de innovación a través del conocimiento y la genialidad. Permite la generación de ideas claras y el desarrollo de ideas innovadoras (TRIZ Arte, 2023, <https://www.trizarte.com/about-triz/>).

En resumen, Zlotin y Zusman demostraron que los principios y herramientas de TRIZ pueden ser adaptados y aplicados en problemas no técnicos de manera similar a cómo se aplican en problemas técnicos. Esto mismo trajo una ampliación de la metodología y su uso en una variedad de campos y situaciones.

Aunque TRIZ comparte algunas similitudes con otros métodos creativos e innovadores, como el *brainstorming* o los mapas mentales, es importante destacar su característica distintiva: TRIZ ofrece un enfoque altamente estructurado para el análisis. Esta estructura rigurosa permite abordar los desafíos desde múltiples perspectivas y desarrollar soluciones más sólidas y efectivas.

Para aprovechar al máximo el potencial de TRIZ, resulta fundamental brindar a los participantes una explicación detallada de su metodología. Comprender los principios

fundamentales de TRIZ y cómo aplicarlos en un contexto específico puede marcar la diferencia entre soluciones comunes y respuestas verdaderamente innovadoras.

En definitiva, la metodología TRIZ es una tecnología disruptiva que ha demostrado su eficacia en diversos ámbitos industriales y científicos. Su enfoque sistemático y la utilización de herramientas como la matriz de los 40 principios de solución permiten el desarrollo de ideas disruptivas y la resolución efectiva de problemas. Aunque se originó como una metodología para problemas técnicos, se ha comprobado su aplicabilidad en problemas no técnicos. La aplicación adecuada de TRIZ en ambos contextos contribuye a fomentar la innovación en diferentes entornos y promover el pensamiento crítico y creativo.

2. Breve historia del STC Metro de la CDMX.

Inaugurado el 4 de septiembre de 1969, por el jefe de departamento del ejecutivo federal, Alfonso Corona, el Sistema de Transporte Colectivo Metro, en aquel entonces del Distrito Federal, es considerado uno de los transportes masivos de mayor importancia en México y Latinoamérica, debido a su gran extensión y cantidad de usuarios que presenta en la actualidad. Cada jornada, alrededor de 4.6 millones de habitantes de la capital se desplazan a través de sus 226,448 kilómetros de recorrido. (CDMX G. , 1969)



Figura 2.1: Logotipo actual del STC Metro. Obtenido en el portal de la SEMOVI CDMX.

Según el portal de internet del STC metro, el servicio tuvo sus inicios en un tramo modesto de la línea 1, conectando las estaciones Zaragoza y Chapultepec. No obstante, debido a la positiva respuesta de la población, el gobierno federal permitió la expansión del sistema hacia el oeste de la ciudad, culminando en una nueva terminal en Tacubaya para el año 1972. En el año 1970, también se inauguraron los tramos de las líneas 2 y 3, que se extendían desde Pino Suárez hasta Taxqueña, y desde Tlatelolco hasta Hospital General, respectivamente.

Hacia el año 1984, se completaron las primeras cinco líneas tal como se conocen en la actualidad. Paralelamente, estaba en proceso de construcción una sexta línea, que abarcaría desde El Rosario hasta Instituto del Petróleo. A medida que avanzó el tiempo, para el año 2000, ya se habían establecido un total de 11 líneas. Las primeras nueve fueron numeradas del 1 al 9, mientras que las dos líneas finales recibieron denominaciones alfabéticas: la línea A, trazando su recorrido desde Pantitlán hasta La Paz, y la línea B, conectando Ciudad Azteca con Buenavista. Todas presentan también un color distintivo que se presenta en el fondo de la iconografía de cada estación, a excepción de la línea B que muestra un patrón de dos colores (verde y gris) en forma de líneas horizontales (véase figura 2.2).

En 2012, tras un periodo de doce años sin la implementación ni ampliación de nuevas líneas, la administración de la Ciudad de México encabezada por Marcelo Ebrard Casaubon, en colaboración con el poder ejecutivo federal liderado por el presidente Felipe Calderón Hinojosa, logró finalizar la construcción y llevar a cabo la inauguración de la línea 12 del sistema ferroviario. Esta línea, que actualmente conecta las estaciones de Mixcoac y Tláhuac, marcó el cierre de un capítulo en el desarrollo de rutas para el sistema ferroviario, al ser el proyecto más reciente en creación o extensión del STC Metro hasta la fecha. (CDMX S. M., 2023)

aglomeraciones en estaciones, especialmente en andenes con muchos usuarios, lo que aumenta el riesgo de caída de personas a las vías. Además, se han presentado problemas en la eficiencia del sistema de transporte, el monitoreo, el pilotaje y la comunicación en la cabina, así como otras afectaciones recurrentes. Este último problema contribuyó al accidente más reciente, entre las estaciones Potrero y La Raza en la línea 3, que resultó en una víctima mortal. (Web, METRO CDMX; Choque en Línea 3 del Metro, así ocurrió; Sheinbaum ofrece informe, 2023)

Debido a la constante y creciente aumento en el número de usuarios en el sistema de metro año tras año, sumado al hecho de que las líneas iniciales de la red, que representan las vías más transitadas, han alcanzado el final de su vida útil, surge la necesidad imperante de implementar mejoras sustanciales en los procesos de innovación del sistema en su conjunto. Uno de estos problemas es el ascenso y descenso de pasajeros de los trenes del sistema.

Este problema surge debido a la falta de seguridad en el proceso, lo que permite que los flujos opuestos de pasajeros se desplacen simultáneamente mientras las puertas del tren permanecen abiertas. Esta situación ha ocasionado colisiones, conflictos y ansiedad entre los usuarios del sistema, siendo especialmente común en estaciones de alta afluencia durante las horas punta. Además, se plantea el dilema de que el tiempo en el que el conductor mantiene abiertas las puertas en cada estación es determinado de manera personal y solo se ajusta a través de la observación personal.

Mediante la aplicación de TRIZ para encontrar soluciones creativas e innovadoras a los desafíos del sistema de transporte, se pretende ofrecer una alternativa que genere ideas centradas en resolver los problemas habituales. A modo de ilustración, se llevará a cabo un ejercicio para abordar el problema de congestión en estaciones con alta afluencia de pasajeros que entran y salen de los trenes; uno de los problemas que acontece y empeora día con día.

3. Definición del problema.

La eficiencia y seguridad en el transporte público son cruciales para una experiencia positiva. El abordaje y desembarque de pasajeros en estaciones de trenes, especialmente en las más concurridas, es un proceso clave que puede ser influido por varios factores. En estaciones de gran afluencia como las del metro de la CDMX, el flujo bidireccional puede causar problemas.

La limitación de tiempo y la distribución de recursos dentro de los trenes complican aún más el proceso. Es por este motivo que, al emplear la definición del problema como una herramienta precursora al desarrollo de la metodología TRIZ, se amplía su potencial para enfrentar dichos desafíos. Mediante este enfoque, se logra la identificación y categorización de múltiples recursos, dando lugar a la generación de soluciones creativas. Los diagramas de funciones muestran las interacciones entre recursos y componentes, lo que ayuda a identificar áreas de mejora.

En pocas palabras, optimizar el proceso de abordaje y desembarque es esencial para la eficiencia y seguridad. Aplicar TRIZ y comprender las interacciones de los recursos permite encontrar soluciones innovadoras para mejorar la experiencia de los usuarios y asegurar un flujo de pasajeros más controlado y seguro.

3.1. Descripción.

El propósito fundamental consiste en encontrar una solución efectiva y, al mismo tiempo, obtener innovación con relación al procedimiento de embarque y desembarque de pasajeros de los compartimentos de los trenes. Esto cobra especial relevancia en aquellas estaciones donde se registra una afluencia significativamente alta de personas.

3.1.1. Configuración de las estaciones del metro de la CDMX.

Dentro del este conjunto de la red, existen diferentes configuraciones para la estructura de las estaciones.

A. Solución Terminal.

Estas estaciones están diseñadas con tres vías y dos andenes respectivos. Esta disposición facilita que los pasajeros que se encuentran a bordo de los trenes que llegan a una de las terminales puedan descender, mientras que en la otra terminal los pasajeros pueden subir al tren. Esta estructura permite un flujo de personas más controlado y la seguridad está directamente

vinculada a la cantidad de pasajeros que están embarcando o desembarcando del tren (véase figura 3.1).

Inicialmente, los conductores del tren permiten que los pasajeros que necesitan bajarse en la estación actual lo hagan. Una vez que el tren esté vacío y todos los pasajeros hayan descendido, se da paso a los pasajeros que desean abordar el tren con destino a la otra terminal de la línea.

B. Solución Barcelona.

También se puede encontrar una disposición de dos vías y tres andenes, conocida como "solución española o Barcelona". En este diseño, los pasajeros descienden hacia el andén central de la estación, mientras que el abordaje se realiza desde los andenes laterales compartidos. Un ejemplo de una estación que utiliza este enfoque es Chabacano, que lo implementa en todas sus líneas de correspondencia. Similar a una disposición terminal, el conductor primero permite que los pasajeros que deseen bajar del tren lo hagan, para luego dar paso a los pasajeros que deseen abordar. Sin embargo, en este caso no se espera que el tren se vacíe por completo antes de permitir el abordaje (véase figura 3.2).

C. Solución Tradicional.

La disposición convencional o tradicional que consta de dos vías y dos andenes. Este diseño es prevalente en la mayoría de las estaciones de transporte. Los andenes se sitúan en los extremos de la estación, mientras que las vías se encuentran en el centro. Sin embargo, aquí surge el principal problema: al permitir este proceso, se generan flujos de pasajeros en direcciones opuestas, dado que solo uno de los andenes se utiliza tanto para el ingreso como para la salida de los pasajeros. Esta doble función puede ocasionar una pérdida de control en el flujo, causando que aumente la probabilidad de accidentes para los usuarios, lo cual compromete su seguridad (véase figura 3.3). Adicionalmente, es el conductor quien decide el tiempo destinado a esta transferencia de pasajeros, el cual frecuentemente resulta insuficiente. Esta circunstancia incrementa la posibilidad de que los usuarios se apresuren y lleguen a empujar a otras personas, generando así accidentes o conflictos.

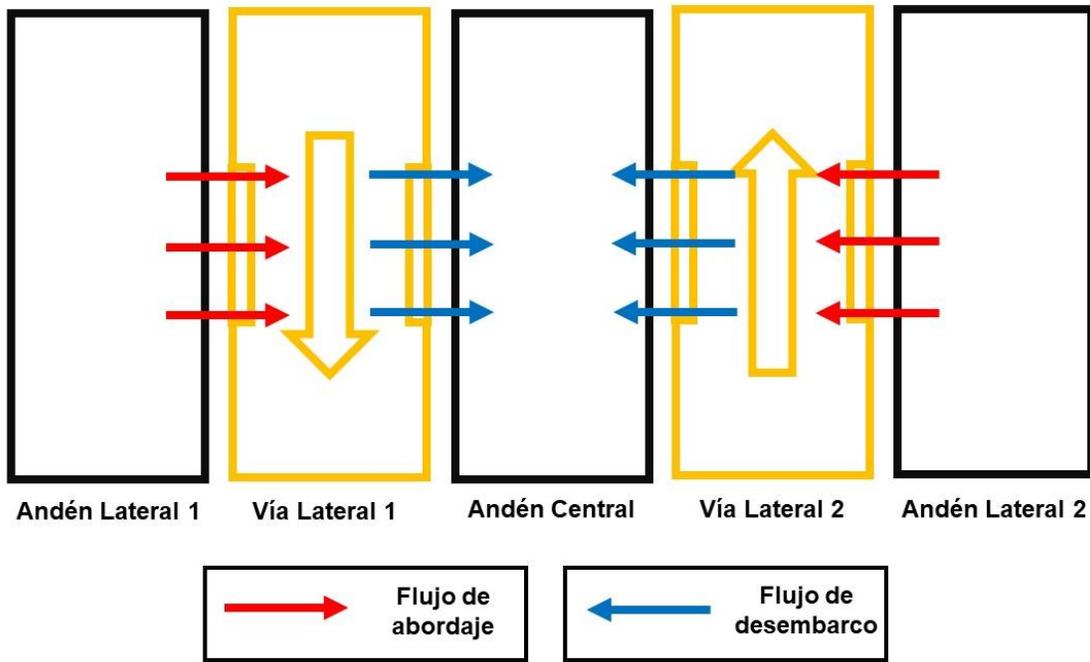


Figura 3.1: a)

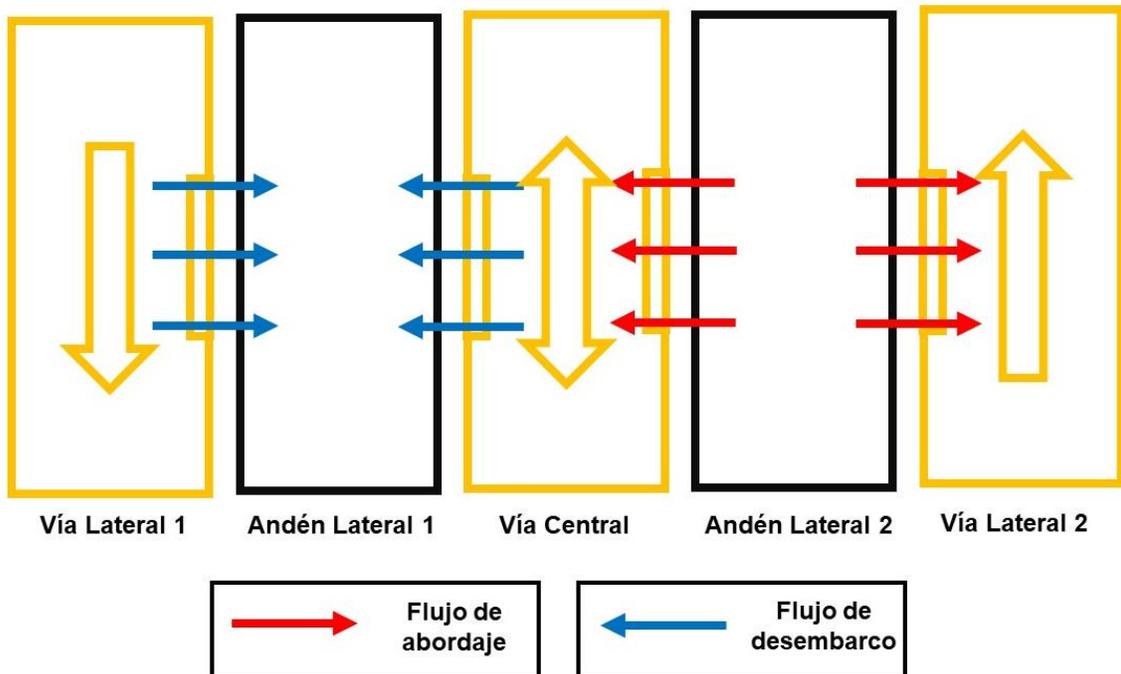


Figura 3.2: b)

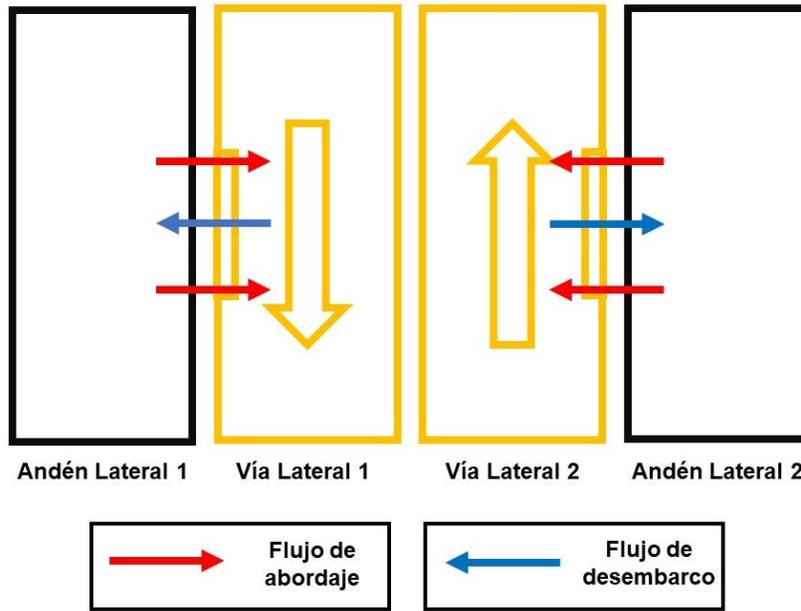


Figura 3.3: c)

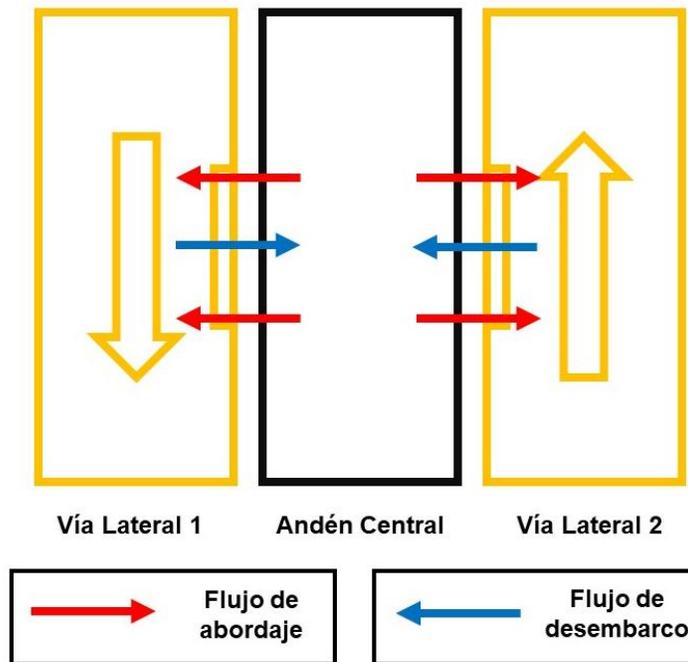


Figura 3.4: d)

Figuras 3.1 - 3.4: Flujo de pasajeros en una estación configurada con solución a) Terminal (Dos Andenes y Tres Vías), b) Barcelona (Tres Andenes y Dos Vías), c) Tradicional (Dos Andenes y Dos Vías) y d) de isla (Un Andén y Dos Vías).

Elaboración Propia.

D. Solución de Isla.

También en la red, se pueden encontrar estaciones que poseen dos vías y un único andén, esto es conocido como una configuración del tipo isla. Sin embargo, en contraste con la disposición mencionada anteriormente, en esta configuración, la plataforma y el flujo de pasajeros al abordar el tren se desplaza desde el centro hacia el lateral, y de manera inversa al descender del tren. Es importante señalar que el desafío que se busca abordar también puede afectar a esta estructura de estación característica, ya que también implica flujos en direcciones opuestas y un tiempo de detención del tren reducido para el conductor (véase figura 3.4).

3.1.2. Proceso de ascenso y descenso.

Con relación a los andenes, es relevante mencionar sus características y su función dentro del proceso de intercambio. Los andenes tienen una función esencial y objetiva de proporcionar a los usuarios un lugar designado para esperar la llegada del tren que los llevará a su destino. Asimismo, cumplen un papel fundamental al establecer una vía clara de salida para aquellos que han descendido del convoy. Sin embargo, durante muchos años, esta función ha sido afectada por la falta de planificación y organización. Esta carencia ha dado lugar a un proceso de intercambio de pasajeros inseguro, erosionando la experiencia de viaje.

No fue sino hasta el año 2016, como una iniciativa piloto liderada por el profesor Gustavo Carreón de la UNAM, se puso en marcha un experimento que merece mención. Concretamente, en un artículo publicado en el portal *Verne* del periódico *El País* en 2018, se detalló cómo se introdujo un novedoso sistema de señalización en forma de puntos o calcomanías en los andenes de la estación Balderas.

Este enfoque demostró ser sorprendentemente efectivo a los ojos de muchos usuarios de la red. La principal hazaña de estas señalizaciones radicaba en su capacidad para instaurar un orden genuino. Su función era ingeniosa: alentar a las personas que aguardaban para abordar el tren a formar filas organizadas, permitiendo que quienes desembarcaran tuvieran el espacio para hacerlo sin obstáculos. De esta manera, cuando el flujo de pasajeros que descendía del tren cesaba por completo, aquellos en fila podían subir al convoy sin que se generara el caos que solía ocurrir en situaciones anteriores. (Coppel, 2018)

El impacto de esta solución fue tan impresionante que, con el paso del tiempo, se expandió a lo largo de diversos andenes en la red. Sin embargo, este enfoque proactivo también desencadenó algunas complicaciones. El aumento en la afluencia de pasajeros, atribuible a la

popularidad de la iniciativa, condujo a una saturación en las estaciones. El espacio disponible resultó ser insuficiente para acomodar a la creciente cantidad de usuarios.

Además, a pesar de la eficacia de las señalizaciones, subsistieron contratiempos. El tiempo asignado por los conductores para llevar a cabo el proceso siguió siendo limitado, lo que ocasionó que algunas personas se apresuraran y no permitieran un desembarque ordenado y fluido. Esta tensión temporal a menudo resultó en una experiencia apresurada y, en ciertas ocasiones, caótica, algo que debe ser tomado muy en cuenta para la creación de una nueva solución innovadora.

Dentro de los vagones, se plantea otro dilema que se suma a la cuestión global: la limitación de espacio derivada del diseño de los asientos y los pasamanos (véase figura 3.5). A esto se agrega la evidente concentración y aglomeración de pasajeros en determinados momentos del día. Esta situación resulta en una restricción significativa de la movilidad de las personas, especialmente para aquellos que buscan descender del tren y, asimismo, también se complica para quienes desean abordar el tren en las estaciones.



Figura 3.5: Imagen del interior de un vagón de tren del STC Metro. Fuente NotiPress.

A partir de la descripción detallada del proceso, se puede trazar un esquema que detalle las etapas clave del ascenso y descenso de los transeúntes (véase figura 3.6). El proceso se inicia con la llegada del tren a la estación. Previamente, los pasajeros que aguardan en el andén se organizan de manera ordenada para abordar o desembarcar de los vagones. Una vez que el tren

Una vez que el tren se detiene por completo, el conductor inicia con la apertura de las puertas, lo que marca el inicio de la actividad de intercambio de personas entre el vagón y el andén. Esta fase implica la transferencia del flujo de pasajeros en ambas direcciones, donde algunos se disponen a ingresar al tren, mientras que otros se preparan para abandonarlo.

Sin embargo, es precisamente en dicho momento donde pueden surgir desafíos y problemas, especialmente en términos de seguridad, agilidad y espacio para el movimiento de los pasajeros. La concentración de personas en un espacio limitado puede dar lugar a situaciones incómodas y peligrosas. Para mitigar estos inconvenientes, es fundamental implementar medidas que promuevan la seguridad y la fluidez del proceso.

Una vez que el flujo de pasajeros ha disminuido y se ha llevado a cabo el intercambio deseado, el conductor procede a cerrar las puertas del tren. Esta acción señala el final de la fase de embarque o desembarque y prepara al tren para su partida. Es importante que el conductor, con su experiencia y juicio, determine el momento adecuado para cerrar las puertas, asegurándose de no dejar a ningún pasajero atrás y de mantener los horarios establecidos.

Con el cierre de puertas, el tren finalmente parte de la estación, dejando atrás un espacio que vuelve a la normalidad tras el ajetreo de intercambio de pasajeros. Es esencial que, al definir este esquema del proceso, se analicen las posibles áreas de mejora y se implementen soluciones innovadoras para optimizar la eficiencia, seguridad y comodidad de los usuarios.

En resumen, el proceso de ascenso y descenso de transeúntes en las estaciones es una secuencia crítica que demanda una cuidadosa planificación y organización. Desde la llegada del tren hasta su partida, cada etapa debe ser gestionada con atención y consideración hacia los aspectos operativos y la experiencia del usuario. Al comprender las dinámicas involucradas y al aplicar estrategias eficientes, podemos garantizar un sistema ferroviario más fluido y satisfactorio para todos los pasajeros.

Se destaca que el planteamiento de la solución al problema de contracorriente, pérdida del control de flujo y la inseguridad en el abordaje y descenso de pasajeros se realizará mediante el ARIZ de CREAX descrito anteriormente, con lo cual, mediante diagramas de funciones describan el proceso de manera gráfica, se permita mejorar el desarrollo creativo para encontrar las soluciones óptimas e innovadoras al problema en juicio, así como potenciar la eficiencia y seguridad en el transporte de pasajeros.

Para llevar a cabo un análisis efectivo utilizando la metodología TRIZ, es fundamental especificar claramente las condiciones y los elementos involucrados en el proceso. Esta delimitación nos permitirá reconocer las interconexiones e interacciones que existen con otros elementos incorporados en el sistema.

Es importante destacar que el proceso en sí mismo se convierte en un componente crucial del sistema. Es desde este proceso que se debe abordar el problema y llevar a cabo el análisis con la metodología TRIZ, con el objetivo de incorporar la innovación o mejorar las condiciones existentes.

Al definir el sistema en función del proceso y al utilizar la metodología TRIZ de manera adecuada, podemos identificar oportunidades de innovación y soluciones creativas para abordar los desafíos presentes. La metodología TRIZ se convierte en una poderosa herramienta para estimular el pensamiento creativo y lograr mejoras significativas en el sistema, maximizando su eficiencia y eficacia. Al abordar con precisión las interconexiones y considerar el proceso como el punto focal, podemos generar soluciones disruptivas y avanzar hacia un futuro más innovador y próspero.

En *CREAX*, como etapa inicial, se puede definir del problema antes de aplicar la metodología TRIZ. Dentro de la herramienta *Problem Description*, se puede redactar un breve texto que contextualiza la problemática central, así como la enumeración de los objetivos finales que se persiguen.

A modo ilustrativo, se puede identificar a un patrocinador o *sponsor* del proyecto, al cliente involucrado y a los miembros del equipo de trabajo. Como ejemplo ilustrativo, se ha seleccionado a la Facultad de Ingeniería en calidad de patrocinador, al STC Metro como el cliente designado y al este servidor como el único integrante del equipo de colaboradores. Se desarrollaron los objetivos y las visiones del proyecto en concordancia con el propósito global y la percepción individual que los involucrados tienen de TRIZ

3.2. Recursos.

En este apartado se detallan los componentes, denominados recursos, que desempeñan un papel fundamental en el proceso al que se hizo referencia previamente en la descripción del problema; esto tiene como objetivo facilitar la identificación de dichos recursos y proporcionar un análisis más detallado de su participación en el proceso en cuestión.

El reconocimiento del concepto de recurso como un elemento integrante de un ente colaborativo en la creación de un sistema o proceso aporta valiosa información sobre su dinámica de interacción con otros componentes. Este aspecto es de relevancia, ya que permite comprender de manera más profunda los recursos involucrados, esclarecer su funcionalidad, ya sea como un recurso explotable, o bien, abordar las limitaciones que puedan incidir de alguna forma en el proceso. Al hacer esto, se logra contextualizar y desarrollar una descripción más completa de estos recursos, con el propósito de focalizar de manera precisa la problemática que surge primordialmente debido a las interacciones que acontecen entre dichos recursos.

Al realizar dicho se vuelve esencial para abordar y solventar este problema mediante la metodología TRIZ. Al comprender a fondo cómo los recursos interactúan y cómo sus funcionalidades y limitaciones influyen en el proceso global, se sienta una base sólida para la aplicación de estrategias y principios TRIZ con el fin de encontrar soluciones innovadoras y eficaces.

Ahora, al abordar los diversos tipos de recursos que caracterizan la metodología TRIZ, es de suma importancia resaltar el papel fundamental que desempeñan. La identificación y comprensión de estas distintas categorías de recursos dentro del marco de TRIZ adquieren una gran relevancia, ya que posibilitan un análisis desde múltiples perspectivas del sistema encontrar soluciones innovadoras mediante la combinación, modificación u optimización de estos recursos, lo que abre puertas a la generación de soluciones innovadoras (véase tabla 3.1).

La consideración de estos recursos en función de su propósito específico, su dimensión en el espacio y el tiempo, así como su contribución informativa, añade profundidad al enfoque de resolución de problemas (véase tabla 3.2).

Según el Dr. James Antaki, profesor de la Universidad de Cornell, para realizar un correcto análisis de recursos, es necesario identificar cada uno de los recursos con un tipo específico facilita la construcción de los esquemas que describan el proceso y la interacción entre sus componentes, esto debido a que se da información acerca de las funciones de cada elemento y su importancia en el sistema. A modo de ejemplo, se puede notar que, para este caso, los pasajeros son el motor del proceso, sin ellos no hay intercambio, y por ende no existiría problemática alguna, además de que la existencia de la red no tendría sentido y la interacción se debe a la dinámica o al intercambio generado por el flujo. Por tanto, los pasajeros deben considerarse como recursos

energéticos y espaciales (combinados), ya que se alojan en los vagones del convoy y en el andén, y de sustancia, al cumplir su propósito de viajar en la red del metro. (Antaki, 2016)

| Tipos de recursos. | Concepto. |
|---------------------------|---|
| Energía | Son todas las fuentes y tipos de energía (magnética, eléctrica, campo gravitacional, térmica, eólica) |
| Espacio | Lugar en el espacio lleno o vacío que podrá utilizarse para modificar la eficiencia o funcionalidad |
| Función | Son las funciones que tienen los sistemas u objetos utilizados en otra aplicación para el cual no estaba diseñado, con o sin cambios. |
| Información | Es la información del objeto, campos, propiedades, cambios de las propiedades, parámetros de la sustancia. |
| Sustancia | Son todas las sustancias utilizadas en el sistema analizado y del medio ambiente |
| Tiempo | Son los intervalos de tiempo que se podrán aprovechar para mejorar el proceso o las operaciones básicas. |
| Combinado | Es la combinación de los recursos primarios. |

Tabla 3.1: Concepto de cada tipo de recursos de cualquier sistema analizado por TRIZ, catalogado por el ingeniero biomédico James Antaki. Elaboración Propia.

Dentro de los compartimentos del tren, se hallan una variedad de elementos que cumplen funciones específicas y son considerados recursos en el contexto del sistema. Aunque pueda resultar enigmático catalogar los asientos, agarres de sujeción y pasajeros de categoría 3 como recursos de función espacial, resulta fundamental comprender las razones detrás de esta asignación.

Estos elementos son clasificados como recursos de función de espacio debido a que principalmente consumen este parámetro dentro de los compartimentos del tren. Esto cobra especial relevancia cuando un conjunto de pasajeros (tipo 2) tiene intenciones de descender, pero se encuentran distantes de la abertura de salida en un vagón abarrotado de usuarios. Tanto los

asientos como los agarres de sujeción ocupan un espacio tangible dentro del compartimento, y los pasajeros de categoría 3 también ocupan una porción específica. La eficiencia y operatividad del proceso de flujo de pasajeros dependen en gran medida de la capacidad de alojamiento de estos elementos dentro del compartimento.

Por otro lado, el conductor, al manejar las puertas del tren, se transforma en un recurso de función informativo. A través de la observación y la toma de decisiones, el conductor establece la duración durante la cual las puertas permanecen abiertas en cada estación, contribuyendo de esta manera a un flujo eficiente de pasajeros. Esta franja o intervalo temporal, que define el procedimiento dentro de un marco establecido por el conductor, se reconoce como un recurso temporal o de tiempo.

Adicionalmente, en el sistema se encuentran otros elementos que desempeñan un papel de vital importancia. Tanto el vagón como el andén son reconocidos como recursos espaciales, dado que acogen a los usuarios del sistema de transporte. La efectividad y la operatividad del proceso están directamente ligadas a la capacidad de estos espacios para albergar a la cantidad de individuos presentes cuando el tren arriba a la estación.

Finalmente, los vanos, los puntos de espera, los espacios de salida y las puertas son considerados recursos sustanciales o de sustancia. Cada uno de estos componentes cumple con una función específica para la cual fueron meticulosamente diseñados, facilitando un acceso y una salida de pasajeros de manera organizada y segura.

Ahora es importante tener en cuenta la temporalidad o el momento en que los recursos son alojados, ya que esto puede tener un impacto significativo en el proceso de resolución de problemas y en la generación de soluciones creativas.

Por parte de *CREAX*, la consideración de la temporalidad de los recursos adquiere una gran relevancia en TRIZ, ya que posibilita la identificación tanto de oportunidades como de limitaciones en lo que respecta a su disponibilidad. Esta perspectiva temporal, a su vez, contribuye a la optimización del proceso de innovación al permitir la priorización de soluciones de acuerdo con las distintas etapas. Asimismo, desempeña un papel fundamental en la prevención de obstáculos durante la implementación de las soluciones y facilita una planificación y programación sumamente eficaces para su utilización. En el contexto del problema, integrar la noción de temporalidad resulta esencial en TRIZ, ya que con ello se logra el desarrollo de soluciones más efectivas y viables. Al

tomar en cuenta cuándo y cómo los recursos están disponibles, se aumenta la probabilidad de éxito en la implementación de las soluciones propuestas. (CREAX, 2005)

Mediante la aplicación de la herramienta de las 9 ventanas, se elabora un detallado inventario de los recursos involucrados en cada nivel del sistema, que abarca desde los subsistemas hasta el sistema en su conjunto, e incluso hasta el supersistema al que pertenece. Este diagrama toma en consideración tanto las restricciones impuestas por la disponibilidad de recursos como su frecuencia de aparición en el transcurso del proceso, dentro de las dimensiones temporales y espaciales (véase figura 3.7)

Se resalta aquellos elementos que cumplen sus funciones justo antes, durante y después de la ejecución de las operaciones de ascenso y descenso de pasajeros en el tren, así como su ubicación o espacio en el que operan.

El esquema desarrollado en *CREAX* proporciona una representación visual que también presenta la identificación de los recursos ligados a cada subsistema. En consonancia con lo mencionado anteriormente, se define que tanto el andén como el vagón actúan como subsistemas interrelacionados, albergando además componentes que interactúan en su interior.

| Recursos | Tipo | Definición |
|---|---|---|
| Pasajeros tipo 1 (flujo ascendente al tren) | Combinado: Energía, Sustancia y Espacio | Pasajeros con intención de abordar el tren. |
| Pasajeros tipo 2 (flujo descendente del tren) | Combinado: Energía, Sustancia y Espacio | Pasajeros con intención de descender del tren. |
| Vagón | Espacio | Plataforma integrada al tren en donde viajan los pasajeros de una estación de partida a una de destino. |
| Andén | Espacio | Plataforma elevada a un costado de la o las vías del metro, dispuesta a facilitar el acceso y salida de los pasajeros. |
| Vano | Sustancia | Espacio donde se colocan las puertas del vagón al cerrarse o, dicho en palabras más precisas, abertura por donde se atraviesa el flujo de pasajeros que abordan y desembarcan del tren. |
| Asientos y pasa manos | Función (Espacio) | Lugar y objetos de reposo y el resguardo de la estabilidad de cierta cantidad de los pasajeros alojados dentro del vagón. |
| Pasajeros tipo 3 (pasajeros dentro vagón sin motivo de descender) | Función (Espacio) | Pasajeros que se encuentran dentro del vagón sin intención de descender del tren durante la realización del proceso. |

| | | |
|--------------------------|-----------------------|--|
| Puntos de espera | Sustancia | Sellos adheridos al piso que permiten ubicar a los pasajeros tipo 1 de forma que puedan organizarlos en filas en ambos lados de los espacios de salida antes de que aborden el tren. |
| Espacios de salida | Sustancia | Rutas de evacuación para los pasajeros tipo 2. Estos espacios permiten que los pasajeros que salen del tren lo hagan de forma rápida y ágil. |
| Puertas | Sustancia | Par de mamparas móviles que permiten el intercambio de pasajeros cuando están en posición de apertura, o en posición de cierre cuando el tren se encuentra en movimiento. |
| Conductor | Función (Información) | Individuo que permite la apertura de las puertas del tren una vez que arriba a una estación, facilitando así el intercambio de pasajeros. |
| Lapso ascenso – descenso | Tiempo | Intervalo de tiempo que permite el conductor para el proceso de ascenso y descenso de pasajeros al abrir y cerrar las puertas del tren. |

*Tabla 3.2: Concepto y descripción de los recursos involucrados en el proceso de ascenso y descenso de pasajeros de un tren de la red de metro de la CDMX.
Elaboración Propia.*

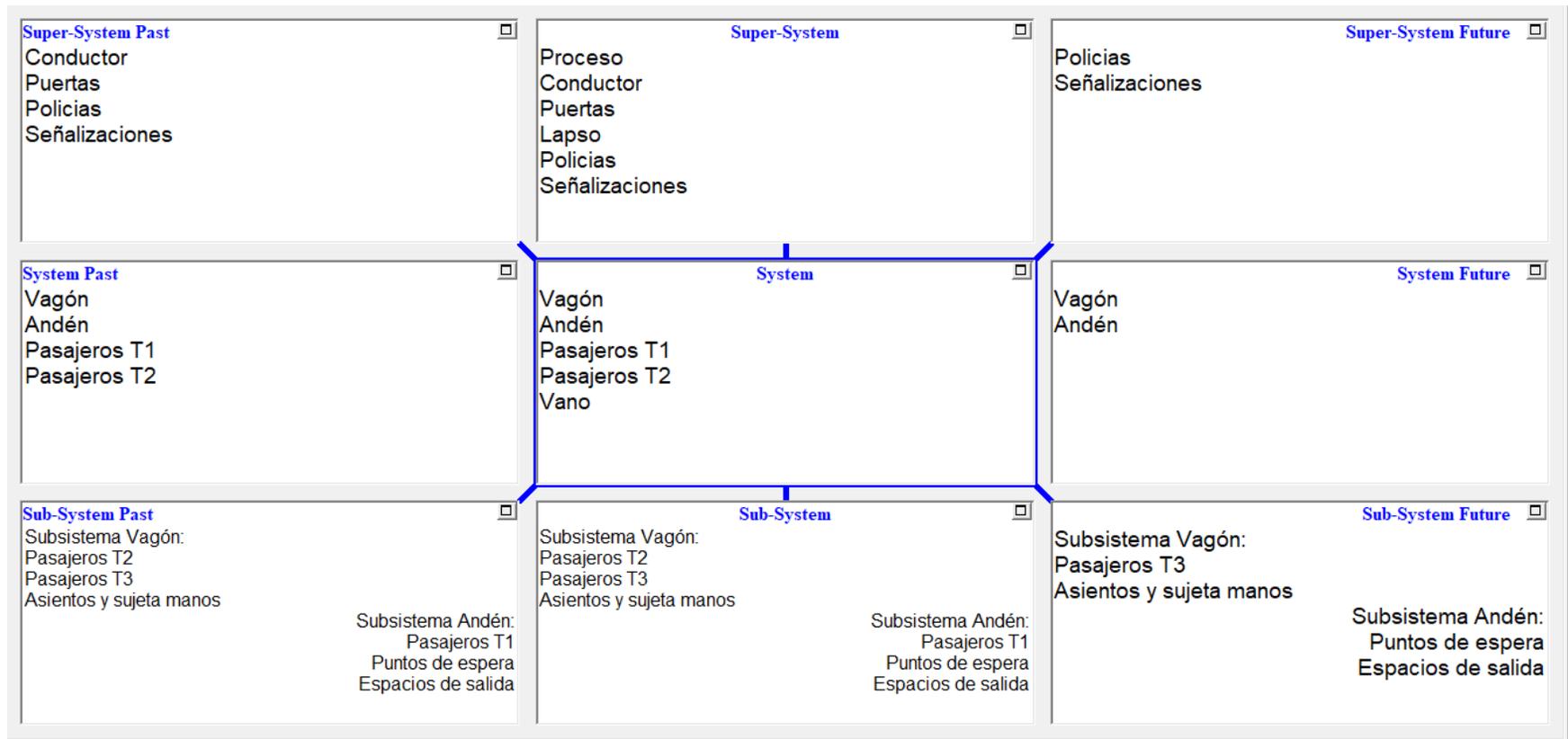


Figura 3.7: Captura de la herramienta de las 9 ventanas de recursos, en su disponibilidad tiempo – espacio, involucrados en el proceso de ascenso y descenso de personas de un vagón de metro llenada en CREAX, Elaboración Propia.

3.3. Diagrama de funciones.

Una vez que los recursos han sido establecidos y el problema inicial ha sido definido, se continua con creación de los diagramas de funciones. Estos diagramas tienen la finalidad de representar visualmente la interacción entre los distintos componentes y las acciones que inciden en el proceso. Mediante estos esquemas se logra la identificación de las acciones que originan o intensifican el problema, así como de los elementos que resultan impactados por el mismo. De esta manera, se posibilita el análisis de las medidas necesarias para asegurar el funcionamiento óptimo del proceso.

Previo a la elaboración y el análisis respectivo, es importante comprender los conceptos de sistema, subsistema y supersistema. Según TRIZ, un sistema se refiere a cualquier objeto que desempeña una función útil. Sin embargo, desde la perspectiva de la resolución de problemas técnicos, se considera como parte de un ente más extenso.

El sistema es el objeto de estudio que presenta el problema, y su tratamiento se enfoca en obtener posibles soluciones a través de los recursos disponibles y comprender cómo estos interactúan con los demás elementos. El supersistema, por otro lado, representa las interacciones de elementos externos al sistema que interactúan con él. Mientras que, los subsistemas son componentes que interactúan entre sí dentro del sistema y requieren un análisis más detallado de sus interacciones.

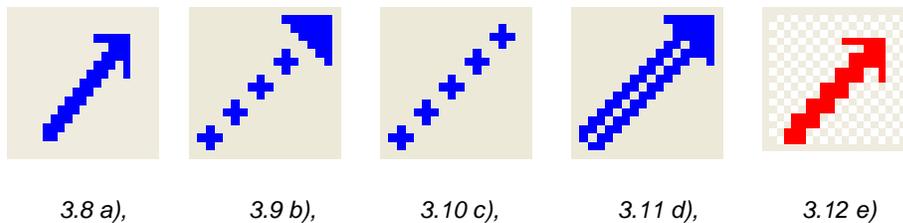
3.3.1. Tipo de interacciones.

A partir de la información obtenida por la herramienta de *Function Diagram* de CREAX, dentro de los diagramas, se ilustra de forma visual el tipo de interacción entre los componentes. Esto se logra mediante flechas que conectan un elemento con otro, transmitiendo una interacción entre un elemento A a un elemento B. (CREAX, 2005)

Estas flechas adoptan diversos diseños, los cuales pueden categorizarse en diferentes niveles:

- **Interacción suficiente:** En esta categoría, los componentes colaboran de manera óptima y objetiva, de acuerdo con los objetivos deseados (véase figura 3.8).
- **Interacción insuficiente:** Aquí los componentes colaboran de manera limitada, lo que resulta en una reducción de la eficacia en su colaboración (véase figura 3.9).

- **Interacción inexistente:** Esta categoría señala la ausencia total de interacción entre los componentes, lo que conlleva a un aislamiento entre recursos (véase figura 3.10).
- **Interacción excesiva:** En estos casos, la colaboración entre los componentes es exagerada, lo que puede generar pérdidas significativas o una baja eficiencia debido a una coordinación desmedida (véase figura 3.11).
- **Interacción dañina:** Dentro de esta clasificación, la colaboración entre componentes resulta en daños infligidos, afectando negativamente su funcionamiento o integridad (véase figura 3.12).



Figuras 3.8 – 3.12: Flechas representativas de las interacciones a) suficiente, b) insuficiente, c) inexistente, d) excesiva y e) dañina entre recursos en los diagramas de funciones obtenidas por el software de CREAX.

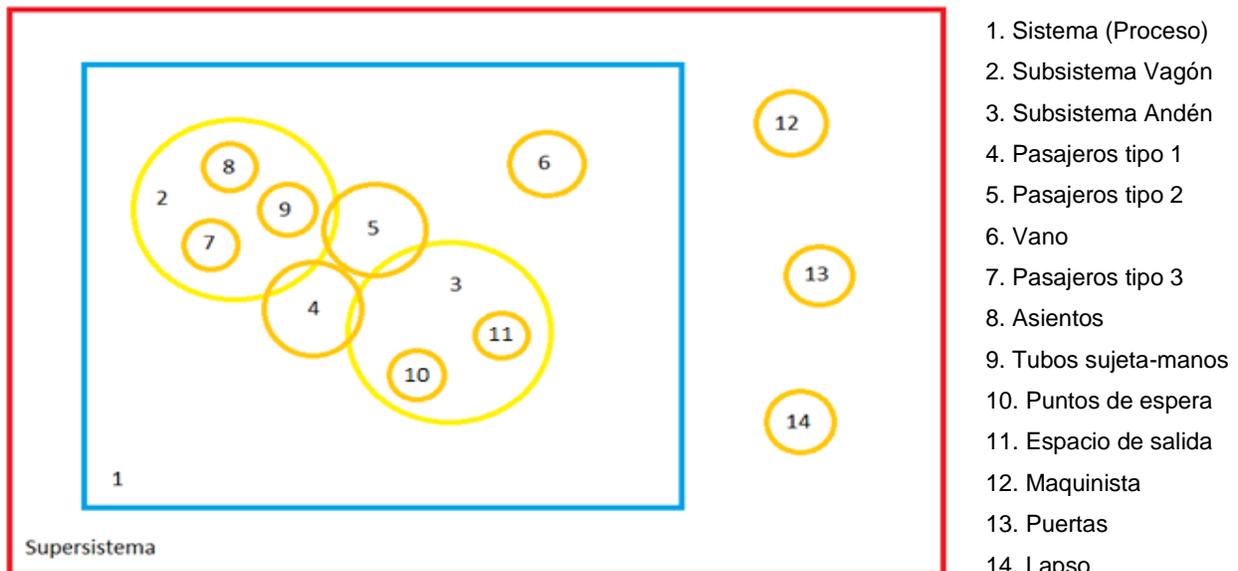


Figura 3.13: Diagrama de Venn que esquematiza las interacciones de los recursos en su respectivo sistema, subsistema y supersistema. Elaboración Propia.

Al visualizar y comprender las interacciones entre los componentes del sistema, se puede avanzar en el estudio y la resolución del problema planteado.

3.3.2. Diagramas por nivel sistemático.

Considerando la descripción de cada interacción, en las próximas listas y tablas se menciona a los elementos que componen el sistema, así como de los supersistemas. Además, se procederá a definir los subsistemas en los cuales es necesario concentrar las interacciones entre sus componentes (véase figura 3.13).

A. Sistema.

El proceso de ascenso y descenso de pasajeros es considerado el sistema, ya que engloba la problemática central. Por otro lado, los Pasajeros tipo 2 se refieren a las personas que desembarcarían del tren.

Es importante señalar que, con el fin de evitar la inclusión de nombres extensos en las casillas de los diagramas que representan los recursos, los Pasajeros tipo 1 serán denominados “ascendentes”, correspondiendo a los usuarios que buscan acceder al tren.

Dicho esto, los elementos que integran al sistema son:

- Pasajeros tipo 1 (flujo de abordaje).
- Pasajeros tipo 2 (flujo de desembarco)
- Vagón.
- Andén.
- Vano.

Para identificar los subsistemas dentro del contexto en estudio, es necesario observar los elementos que conforman los recursos existentes, poniendo especial atención en aquellos que no solo interactúan con otros, sino que también presentan una interacción interna entre ellos. Estos subsistemas, a su vez, cuentan con elementos que desempeñan acciones específicas sobre los demás, generando una cierta responsabilidad en relación con la problemática que se pretende abordar.

Para este caso, al examinar tanto los elementos del vagón como los del andén, se pueden identificar otros componentes que ejercen una influencia considerable en la situación y el problema

abordado. Por consiguiente, estos dos elementos son reconocidos como los únicos subsistemas presentes en el proceso que está siendo analizado.

| 1er elemento | Función | 2do elemento | Efecto |
|--------------------|-----------|--------------------|--------------|
| Ascendentes (PT1) | Subir | Vagón | Excesivo |
| Descendentes (PT2) | Bajar | Vagón | Excesivo |
| Andén | Parten | Ascendentes (PT1) | Suficiente |
| Andén | Arriban | Descendentes (PT2) | Suficiente |
| Vano | Transitan | Ascendentes (PT1) | Insuficiente |
| Vano | Transitan | Descendentes (PT2) | Insuficiente |
| Descendentes (PT2) | Chocan | Ascendentes (PT1) | Dañina |
| Ascendentes (PT1) | Chocan | Descendentes (PT2) | Dañina |

Tabla 3.3: Interacción entre los elementos del sistema. Elaboración Propia.

B. Subsistema vagón.

Los elementos que integran al subsistema vagón son:

- Pasajeros tipo 1 (flujo de ascenso)
- Pasajeros tipo 2 (flujo de desembarco).
- Pasajeros tipo 3 (pasajeros sin el motivo de desembarcar) (se nombran “pasajeros” solamente para reducir el tamaño de la palabra dentro de las cajas de su respectivo diagrama de funciones).
- Asientos y sujeta manos: Lugar y objetos de reposo para cierta parte de los pasajeros (se nombran “asientos” solamente por la razón ya mencionada).

| 1er elemento | Función | 2do elemento | Efecto |
|-----------------|--------------------|--------------------|----------|
| Asientos | Restringen paso | Ascendentes (PT1) | Excesivo |
| Asientos | Restringen paso | Descendentes (PT2) | Excesivo |
| Asientos | Restringen espacio | Pasajeros (PT3) | Excesivo |
| Pasajeros (PT3) | Restringen paso | Descendentes (PT2) | Excesivo |
| Pasajeros (PT3) | Restringen espacio | Ascendentes (PT1) | Excesivo |

Tabla 3.4: Interacción entre los elementos del subsistema vagón. Elaboración Propia.

C. Subsistema andén.

Los elementos que integran al subsistema andén son:

- Pasajeros tipo 1 (flujo de abordaje).
- Pasajeros tipo 2 (flujo de desembarco)
- Puntos de espera.
- Espacio de salida.

| 1er elemento | Función | 2do elemento | Efecto |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------|
| Puntos de espera | Organizan | Ascendentes (PT1) | Insuficiente |
| Espacio de salida | Restringe espacio | Ascendentes (PT1) | Excesiva |
| Puntos de espera | Permiten paso | Descendentes (PT2) | Suficiente |
| Espacio de salida | Crea camino | Descendentes (PT2) | Suficiente |

Tabla 3.5: Interacción entre los elementos del subsistema andén. Elaboración Propia.

D. Supersistema.

Posteriormente, se debe describir al supersistema, compuesto por entidades que, si bien, no pertenecen al proceso en sí, desencadenan cierta responsabilidad en el problema.

Los elementos que pertenecen al supersistema:

- Proceso de ascenso y descenso de pasajeros.
- Conductor del tren.
- Puertas.
- Lapso ascenso – descenso (nombrado solamente como “lapso”).

| 1er elemento | Función | 2do elemento | Efecto |
|---------------------|----------------|---------------------|---------------|
| Puertas | Detiene | Proceso | Suficiente |
| Lapso | Permite | Proceso | Insuficiente |
| Conductor | Crea/Decide | Lapso | Insuficiente |
| Conductor | Abre/Cierra | Puertas | Suficiente |

Tabla 3.6: Interacción entre los elementos del supersistema. Elaboración Propia.

La consideración de la interacción entre los componentes del sistema ascendente y descendente como perjudicial o dañino se deriva de la sección de "Descripción del Problema" (véase tabla 3.3). Ahí se destaca que cuando el tiempo se reduce y suena la alarma de cierre de puertas en el tren, las personas que entran y salen apresuran sus movimientos, lo que puede resultar en accidentes debido a la velocidad incrementada de estas acciones.

El resto de los efectos que se ocasionan por la interacción entre los elementos del sistema, identificados como excesivos, se deben principalmente a la gran cantidad de usuarios participantes en el proceso y a la limitación de espacio tanto en el andén como dentro del vagón (véase en las tablas 3.3 – 3.5). Por su parte, los efectos de insuficiencia se originan por la falta de espacio en los trenes para acomodar a un gran número de pasajeros, la restricción impuesta por la longitud reducida de los espacios entre vagones, y la asignación de la responsabilidad de abrir y cerrar las puertas al conductor, así como la elección del momento en que se lleva a cabo el proceso.

Dicho esto, una vez que se ha desglosado la interacción entre los elementos en sus respectivos niveles sistémicos, se hace necesario abordar la solución del problema en un nivel

específico del proceso. Esto implica reconocer las limitaciones de recursos en cada uno de los componentes y elementos del sistema, incluyendo los subsistemas y el supersistema.

En primer lugar, el sistema presenta el problema central y más perjudicial. Sin embargo, también ofrece una descripción insuficiente del proceso. Por lo tanto, el enfoque para esta sección se centrará exclusivamente en las funciones más perjudiciales (véase figura 3.14).

En cuanto al subsistema del vagón, el principal desafío radica en el reducido espacio en relación con el número de pasajeros que ingresan al tren. Esto dificulta tanto la movilidad de quienes salen como la de quienes entran al vagón. La solución se dirigirá específicamente a este problema. (véase figura 3.15).

En el caso del subsistema del andén, aunque se encuentra en parte vinculado a la solución, se centrará en el problema del espacio, sobre todo con respecto a la solución de puntos y su reconfiguración dentro de la estación (véase figura 3.16).

Por último, el supersistema también se considera un enfoque para el desarrollo de parte de la solución. Esto se debe a que implica al individuo que supervisa el flujo de pasajeros y tiene la autoridad para determinar el tiempo del proceso (véase figura 3.17).

Es importante destacar que los diagramas presentados en este trabajo fueron creados utilizando *Power Point*. Esto se debe a que la herramienta de *Function Diagram* del software *CREAX* ocasiona una superposición de imágenes que dificulta la visualización de las flechas correspondientes a las interacciones, dando la impresión de que dichas flechas han desaparecido del esquema. Para clarificar las representaciones, las flechas que indican interacciones suficientes se muestran en azul con un trazo delgado, mientras que las flechas que denotan interacciones insuficientes se presentan en azul en forma de trazos punteados. Aquellas flechas que representan interacciones excesivas se muestran en azul con un trazo grueso, y finalmente, las interacciones perjudiciales se destacan con flechas rojas. Sin embargo, los diagramas son también realizados en *CREAX* para continuar con el proceso creativo.

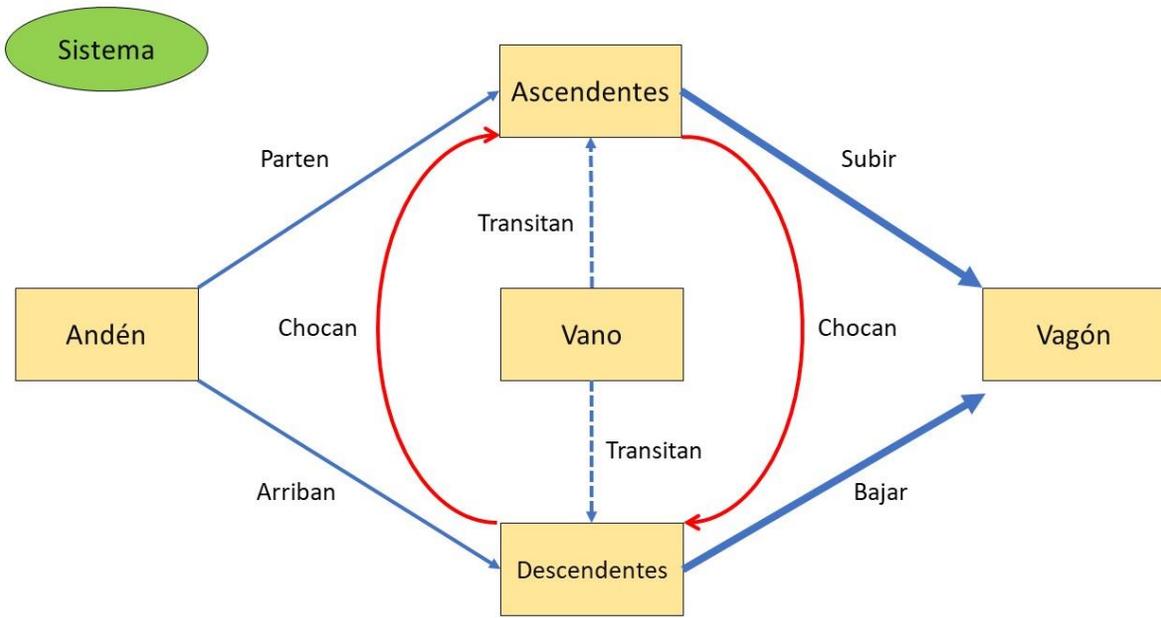


Figura 3.14 a)

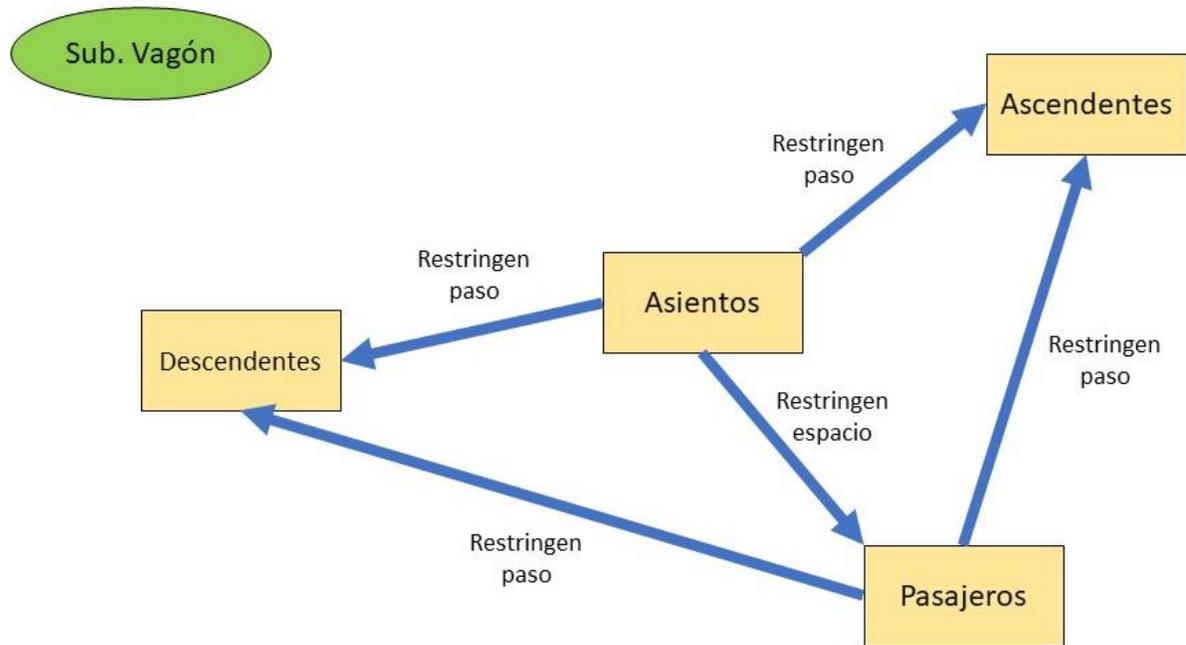


Figura 3.15 b)

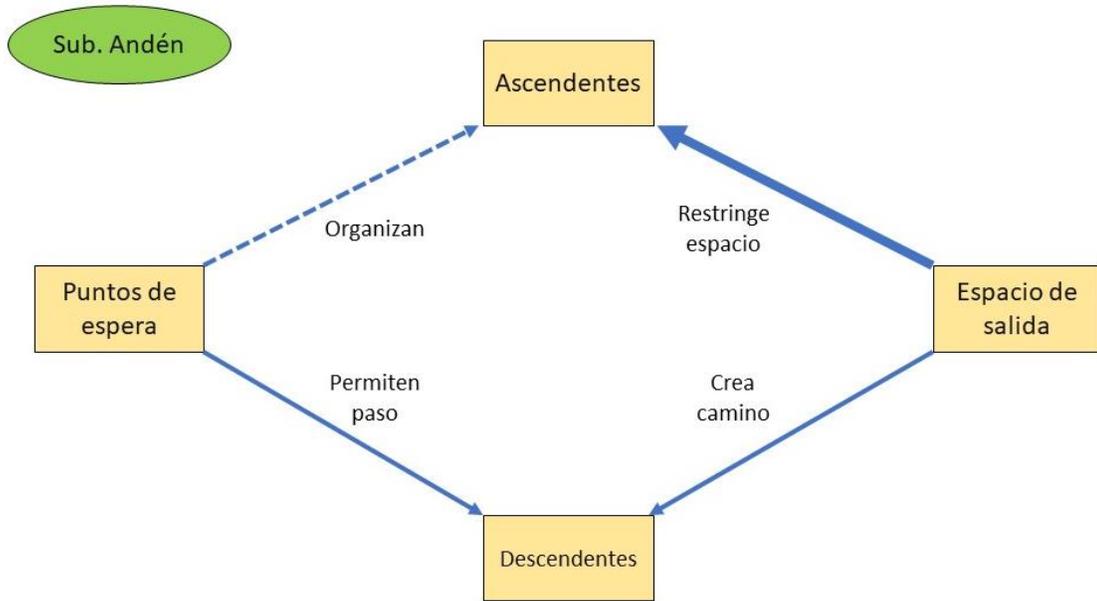


Figura 3.16 c)

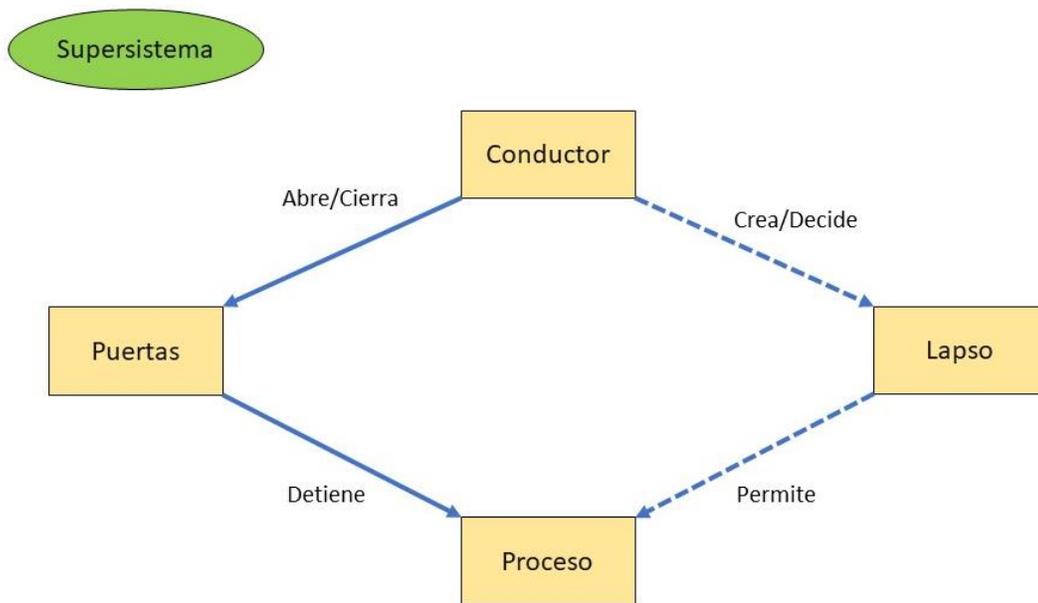


Figura 3.17 d)

Figuras 3.15 – 3.18: Diagramas de funciones del a) sistema, b) subsistema vagón, c) subsistema andén, d) supersistema, representativos al proceso de ascenso y descenso de pasajeros de un tren de metro de la CDMX.

Elaboración Propia

4. Solución mediante TRIZ.

La metodología TRIZ ofrece un enfoque ingenieril que busca la innovación al enfrentar desafíos técnicos y sistémicos. Su piedra angular es la "idealidad", la cual se refiere a maximizar beneficios y eficiencia con el menor esfuerzo posible. Esto se logra mediante la ecuación de idealidad, que compara los beneficios con costos y prejuicios.

La idealidad es esencial en TRIZ, guiando la optimización de sistemas y soluciones. Se busca un estado deseado que equilibra todos los factores, maximizando beneficios y minimizando costos. Al establecer el IFR (Resultado Final Ideal), se fija un objetivo claro y específico para mejorar procesos y resolver problemas. Se identifican obstáculos que bloquean este objetivo, utilizando diagramas de funciones. Estos obstáculos son analizados, justificados y convertidos en enunciados contradictorios.

Los enunciados contradictorios son clave en la resolución de problemas. Identifican desafíos técnicos y físicos al mejorar un aspecto a costa de otro. Mientras que, el análisis Su-Field comprende las relaciones entre sustancias y campos en un sistema o proceso problemático para identificar oportunidades de mejora e innovación. El análisis Su-Field busca analizar las interacciones entre elementos clave y las fuerzas que actúan sobre ellos, con el propósito de encontrar soluciones que permitan superar contradicciones y mejorar el funcionamiento del sistema.

De esta forma, la sección que continúa constituye el núcleo fundamental del proyecto, ya que marca el inicio del proceso creativo destinado a identificar una solución innovadora y óptima para abordar el problema del ascenso y descenso de pasajeros en un convoy del metro.

En una previa sección referente a ARIZ, se discutió el algoritmo que *CREAX* había simplificado para su incorporación en su programa. A pesar de que se indicó que este sería el algoritmo a seguir para llegar a la solución final, también se hizo mención de que muchas personas que empleaban algoritmos más complejos realizaban ajustes en los pasos según su conveniencia. En esta ocasión, se aplicará un enfoque similar.

El primer concepto a emplear será el análisis de idealidad. Este paso se toma como punto de partida debido a que permite identificar una solución que posea las propiedades o características deseadas. Esto establece una meta observable desde el principio, evitando abordar

el algoritmo de manera ciega. En lo que respecta a los demás pasos, se mantendrán en su secuencia original sin alteraciones (véase figura 4.1).

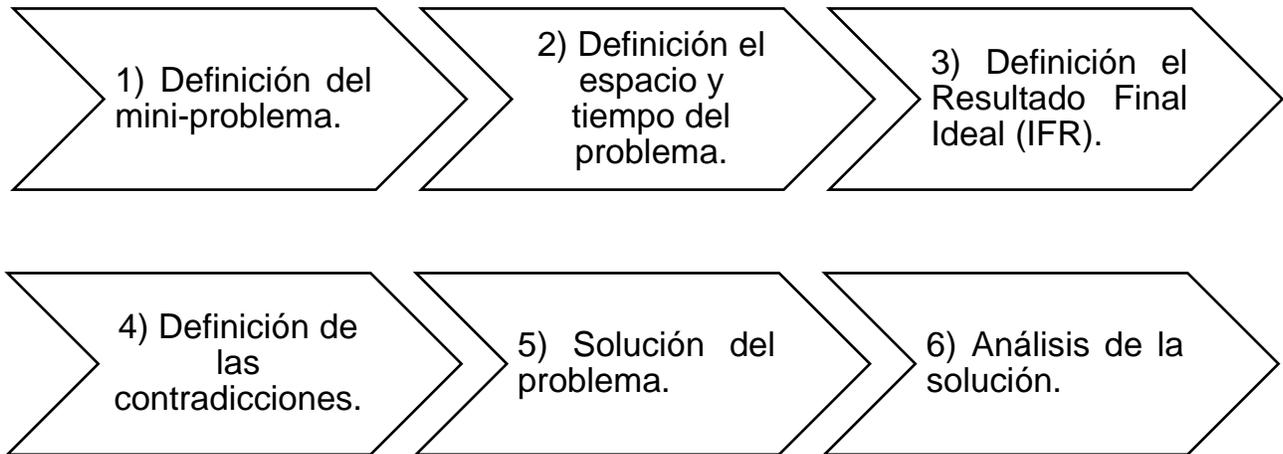


Figura 4.1: Diagrama con el procedimiento ARIZ modificado. Elaboración Propia.

4.1. Idealidad.

La idealidad en TRIZ representa la búsqueda por lograr que un proceso, sustancia, método o máquina cumpla con su propósito deseado, con el menor esfuerzo y de manera más eficiente posible. Se expresa mediante la ecuación de idealidad, que considera la maximización de los beneficios en relación con el costo y los prejuicios.

El grado de idealidad refleja el deseo de obtener el máximo beneficio con los recursos y esfuerzos mínimos. La ecuación que cuantifica este grado en una expresión que permite la evaluación y comparación diferentes opciones en función de su rendimiento ideal (véase ecuación 4.1).

$$\text{Grado de Idealidad} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos} + \text{Prejuicios}}$$

Ecuación 4.1: Función del grado de idealidad.

A partir de la información recabada de CREAX, en el contexto de la metodología TRIZ, la idealidad es un concepto clave que guía el proceso de innovación. Se busca optimizar los sistemas, identificando soluciones que maximicen los beneficios y minimicen los costos y

esfuerzos necesarios. El objetivo es encontrar el equilibrio óptimo donde se logre la máxima eficiencia en la consecución del propósito deseado. (CREAX, 2005)

4.1.1. Resultado Final Ideal (IFR).

El Resultado Final Ideal (IFR) es el estado ideal que se busca alcanzar mediante la aplicación de la idealidad. Representa la solución que cumple plenamente con todos los objetivos y requisitos establecidos, maximizando los beneficios y minimizando los costos y prejuicios. Es el estado en el cual se logra el equilibrio perfecto entre todas las variables involucradas, permitiendo un rendimiento óptimo y altamente eficiente.

A partir de la información dada por David Lady, en su libro *Information Technology System Cookbook: Introducing TrizIT*, al definir el IFR desde esta perspectiva, se establece un enfoque claro y específico para las soluciones que se buscan. Esto implica que las soluciones deben centrarse en resolver el problema de manera eficiente o alcanzar la innovación en relación con el estado deseado representado por el IFR. Es en este punto donde se establece el grado máximo de idealidad a alcanzar, determinado por el IFR. Y es partir de esta definición, se pone en marcha el algoritmo de TRIZ para la búsqueda de soluciones e innovación. (Lady, 2012)

En el caso específico del proceso de intercambio de pasajeros en los vagones del metro, se ha establecido previamente que dicho proceso es inseguro e ineficaz, como se ha discutido en secciones anteriores. Sin embargo, al definir el IFR, se plantea con la expresión dicha de forma contraria. En este caso, el IFR sería establecer que el flujo de pasajeros es seguro y eficaz.

Al establecer el IFR de esta manera, se ha fijado un objetivo claro y específico para mejorar el proceso. Este IFR representa el estado ideal que buscamos alcanzar, donde el flujo de pasajeros cumple con los criterios de seguridad y eficacia.

Después de establecer el IFR, es importante identificar los obstáculos que impiden alcanzar ese estado deseado. Estos obstáculos son los elementos que actúan como "topes con pared", bloqueando el camino hacia el IFR. Una forma de reconocer estos obstáculos es observando los diagramas de funciones que describen las interacciones entre los componentes. Por ejemplo, se puede identificar una interacción dañina entre los pasajeros al subir y bajar del tren.

Una vez identificados los obstáculos, es necesario justificarlos o preguntarse por qué están impidiendo alcanzar el IFR. Esta justificación se logra al examinar nuevamente los diagramas de

función, ya que las interacciones entre los componentes de cada nivel sistemático pueden tener efectos que sean útiles o contraproducentes para el proceso (véase tabla 4.1). Retomando el ejemplo anterior de la interacción entre los pasajeros al ascender y descender, se definió como dañina y se estableció un indicador que la describe. Esto se debe a que, durante el flujo, las personas intentan abordar o descender rápidamente debido a la incertidumbre sobre cuánto tiempo el conductor del tren mantendrá las puertas abiertas. No desean quedarse atrás o dentro del vagón respectivamente, lo cual justifica el efecto negativo de esta interacción.

| No. | ¿Qué obstáculos impiden lograr el IFR? | ¿Por qué estos obstáculos lo impiden? |
|-----|---|--|
| 1 | Los espacios en el andén y en el vagón son reducidos. | Hay muchos usuarios y pasajeros sobre el andén y dentro de los vagones. |
| 2 | La desorganización de los usuarios no permite la salida de pasajeros. | La desorganización provoca que las masas sean poco cooperativas. |
| 3 | El tiempo es escogido por el conductor. | No es automático y pueden existir errores. |
| 4 | El lapso no es óptimo. | No se garantiza la seguridad a los usuarios ni la velocidad del proceso. |
| 5 | La generación del flujo bidireccional es síncrona. | Hace al proceso ineficaz e inseguro. |

Tabla 4.1: Definición de los obstáculos para obtener el IFR del proceso y su justificación. Elaboración Propia.

Al plantear el IFR se establece un objetivo claro, y posteriormente se identifican los obstáculos que impiden alcanzarlo. Estos obstáculos se reconocen mediante la observación de los diagramas de funciones, que revelan interacciones dañinas. Luego, es necesario justificar estos obstáculos examinando nuevamente los diagramas de función, donde se analizan los efectos y se establecen indicadores que describen las interacciones problemáticas.

Con esto en mente, continúa el desarrollo de los enunciados contradictorios, los cuales desempeñan un papel fundamental en la resolución de los obstáculos. Estos enunciados proporcionan los parámetros de cambio necesarios para abordar las problemáticas identificadas

previamente. Al ingresar estos parámetros a la matriz de contradicción, podremos obtener soluciones generales para mitigar los obstáculos y avanzar hacia el logro del IFR.

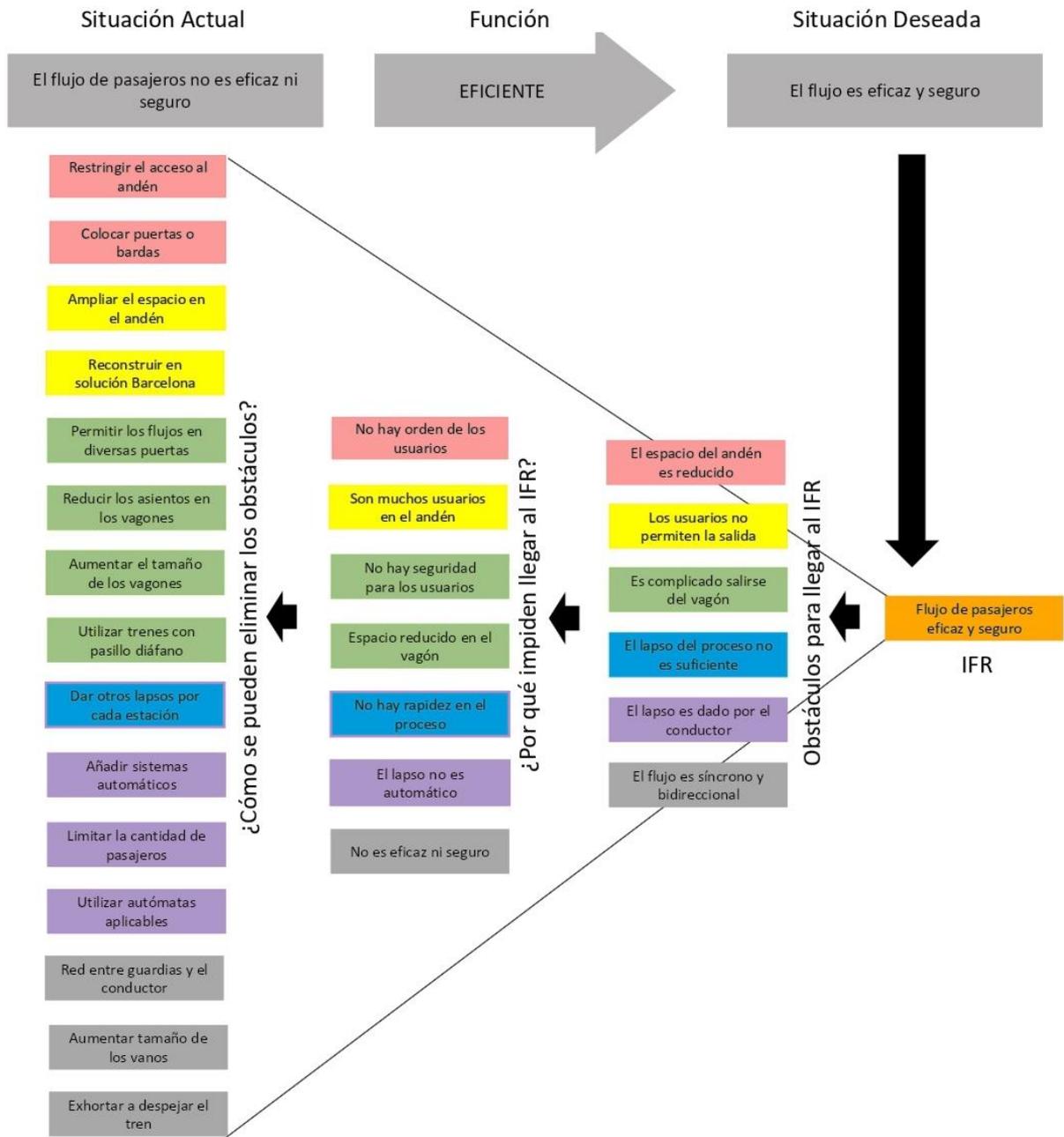
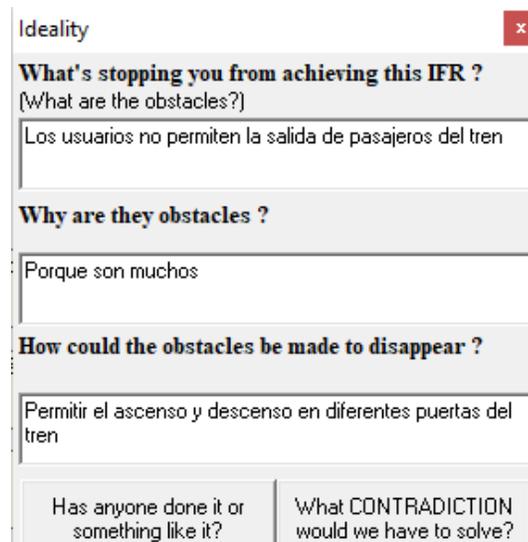


Figura 4.2: Mapa de idealidad del TRIZ proceso de ascenso y descenso de pasajeros de un tren de metro de la CDMX.

Elaboración Propia

En *CREAX*, se elabora un mapa de idealidad que facilita una identificación más nítida de estos obstáculos, junto con la explicación de por qué se consideran como contratiempos que impiden el logro del IFR, y también se muestra la función que se debe lograr para que se cumpla el objetivo de la solución a obtener (Véase figura 4.2). Además, este enfoque también proporciona una sección en forma de cuestionario destinada a la generación de ideas para identificar soluciones, así como a detectar contradicciones. Del cuestionario se observa que presenta la posibilidad de ligar el obstáculo con una contradicción con el botón inferior derecho, dirigiendo a la herramienta de *Contradictions* (véase figura 4.1). Sin embargo, este punto se aborda en el subtema siguiente.



Ideality

What's stopping you from achieving this IFR ?
(What are the obstacles?)

Los usuarios no permiten la salida de pasajeros del tren

Why are they obstacles ?

Porque son muchos

How could the obstacles be made to disappear ?

Permitir el ascenso y descenso en diferentes puertas del tren

Has anyone done it or something like it? What CONTRADICTION would we have to solve?

Figura 4.3: Cuestionario de idealidad presente en la herramienta de Ideality del software de CREAX al dar doble clic en alguna de las casillas del mapa.

Debido al límite de casillas disponibles en la herramienta de búsqueda de soluciones de *CREAX* para el análisis de idealidad, es necesario ampliar el mapa de idealidad. Para lograr esto, se ha desarrollado el mapa en *Power Point*, ya que permite visualizar de manera integral las soluciones, los obstáculos, sus justificaciones y el IFR.

4.2. Enunciados contradictorios.

Según los autores, Irving Copi y Carl Cohen (2014), en el contexto de la lógica, la contradicción se refiere a una situación en la que dos o más proposiciones o afirmaciones son mutuamente excluyentes y no pueden ser verdaderas al mismo tiempo. (Copi & Cohen, 2014) En otras palabras, cuando dos declaraciones se contradicen, una afirmación niega directamente la validez de la otra. Esta condición genera un conflicto lógico, que implica que al menos una de las afirmaciones debe ser falsa. La noción de contradicción es fundamental para establecer la consistencia y validez de los argumentos y razonamientos en diversos campos, incluyendo la filosofía, las matemáticas y la ciencia (véase figura 4.4).

| X | \bar{X} | $X \wedge \bar{X}$ |
|-----|-----------|--------------------|
| V | F | F |
| F | V | F |

Figura 4.4: Representación de la función booleana de una contradicción, resultando falso en sus dos estados lógicos. Elaboración Propia.

4.2.1. Contradicciones físicas y técnicas.

Muchos de los estudiosos de la metodología interpretan que, en TRIZ, los enunciados contradictorios desempeñan un papel fundamental en la resolución de problemas al precisar de manera clara y específica el desafío que se enfrenta. (AITRIZ) En algunos casos, la raíz de un problema se encuentra en la generación de una solución, lo cual da lugar a una contradicción técnica (véase tabla 4.2). Esta contradicción se presenta cuando mejorar una característica o componente resulta en un detrimento en otra. Por otro lado, en ciertos escenarios, se requiere que una función tenga estados opuestos que imposibiliten la creación de cualquier solución, dando origen a una contradicción física (véase tabla 4.3).

La identificación y comprensión de estos diferentes tipos de contradicciones es crucial para abordar los desafíos de manera efectiva. Al distinguir entre contradicciones técnicas y físicas, es posible enfocar la búsqueda de soluciones apropiadas y adecuadas para cada situación.

A. Contradicción técnica.

Las contradicciones técnicas, como se menciona en la tabla 4.2, surgen cuando se busca mejorar una característica o componente, pero esto resulta en el detrimento en otra área del sistema. Esto a menudo requiere un enfoque creativo para encontrar soluciones que permitan el equilibrio óptimo entre estas características en conflicto.

| Verbo | Componente | Mejora | Característica 1, | Pero empeora | Característica 2 |
|----------|-------------------------------|--------|-------------------|-----------------|------------------|
| Aumentar | La potencia de un dispositivo | Mejora | Su rendimiento | Pero incrementa | Su tamaño |

Tabla 4.2: Definición, redacción y estructura de un enunciado con contradicción técnica. Elaboración Propia.

B. Contradicción física.

Por otro lado, las contradicciones físicas, como se ilustra en la tabla 4.3, representan una problemática diferente. Estas contradicciones ocurren cuando dos o más funciones necesarias en un sistema se contradicen mutuamente, lo que hace que sea imposible encontrar una solución directa. Superar estas contradicciones físicas a menudo implica un cambio en el enfoque, la tecnología o la perspectiva, y puede requerir soluciones más innovadoras y radicales.

| Parámetro | | Elemento | | Valor 1 | | Propósito 1 | |
|-------------|----|-----------|----------|-------------------|------|-----------------------------|--|
| Una batería | De | Automóvil | Debe ser | De gran capacidad | Para | Recorrer mayores distancias | |
| | | | | Pero | | | |
| | | | | Valor 2 | Para | Propósito 2 | |
| | | | | Pequeña | | Que no sea pesada | |

Tabla 4.3: Definición, redacción y estructura de un enunciado con contradicción física. Elaboración Propia.

4.2.2. Definición de las contradicciones del proceso.

La creación de los enunciados es realizada con el apoyo de los diagramas de funciones y los obstáculos al IFR, debido a que estos describen específicamente los elementos involucrados y los inconvenientes del proceso. La redacción es realizada por nivel sistemático, para resolver, de manera individual, cada parte del problema.

En el caso del subsistema andén se debe considerar la falta de espacio que los pasajeros que ascienden restan para los pasajeros que descienden. Por lo que la redacción de los enunciados es la siguiente:

1. La colocación de puntos de espera para los pasajeros que ingresan al vagón permite organizar una fila para los usuarios, pero reduce significativamente el espacio disponible en el andén.
2. La creación de un espacio de salida amplia para los pasajeros que descienden del vagón agiliza el proceso, pero su funcionalidad se ve condicionada por la cantidad de personas sobre el andén.

Ahora, para la construcción de los enunciados del subsistema vagón, se presenta la falta de espacio por los elementos que se encuentran dentro del tren, aunque una de las principales ventajas que se tienen es la gran cantidad de pasajeros que es posible transportar sobre el vagón. Por lo tanto, se propone el siguiente enunciado.

3. Al colocar asientos, sujeta manos y pasajeros que no descenderán del tren en el mismo vagón junto a los pasajeros que sí descienden, se permite transportar un mayor número de usuarios, pero esto restringe excesivamente el movimiento y el espacio para la salida de estos últimos.

Con respecto al supersistema se observa que los principales problemas se deben al tiempo en que el conductor permite al abordaje y el descenso, pero en favor a esto, el proceso se realiza de forma más rápida. Es por eso por lo que, la redacción de los enunciados será realizado con base a este elemento. Se observa que el 4to enunciado presenta una contradicción física.

4. Es necesario establecer un lapso suficientemente amplio para garantizar la seguridad de los pasajeros durante el flujo, pero al mismo tiempo, debe ser lo suficientemente corto para que el proceso sea ágil y eficiente.
5. Brindar la opción al conductor de determinar el lapso en el que se realiza el flujo de pasajeros permite agilizar el proceso, pero lo hace menos automático y sujeto a la toma de decisiones individuales.

Posteriormente, para el caso del riesgo perteneciente al sistema común, la conexión dañina entre los pasajeros que ascienden y descienden es la que será tratada en este último enunciado.

6. Permitir el flujo sincronizado de pasajeros que ingresan y salen del tren podría acelerar el proceso, pero plantea problemas de seguridad y eficiencia.

Es con estos 6 enunciados son los que se trabajará. Ahora, se deben ligar cada uno de los parámetros de las contradicciones a los 39 parámetros de cambio generales (Véase la tabla de parámetros de cambio en el anexo A2), para que posteriormente se puedan obtener las soluciones individuales por medio de la matriz de diseño de Altshuller.

4.2.3. Determinación de los parámetros de cambio.

Con el objetivo de evitar realizar analogías hacia sistemas técnicos, algo que Altshuller desaprobaba, se opta por emplear la creatividad y la percepción para establecer conexiones entre los parámetros físicos de cambio y aquellos no técnicos presentes en los enunciados.

A. Enunciado 1.

En el enunciado 1, se destacan las palabras "organización" y "espacio", dos parámetros que afectan negativamente el funcionamiento del subsistema andén. Estos pueden relacionarse con los parámetros 13 (estabilidad de la composición del objeto) y 6 (área de un objeto estacionario), respectivamente. Los puntos de espera proporcionan estabilidad e integridad a los usuarios mientras esperan el tren (organización), pero esto se ve afectado por el espacio limitado debido a la ubicación de estos puntos (véase tabla 4.4).

B. Enunciado 2.

En el enunciado 2, se destacan "agilidad" y "funcionalidad". Estos se pueden relacionar con los parámetros 9 (velocidad) y 27 (fiabilidad), respectivamente. La velocidad se relaciona con la agilidad, ya que se espera que al ampliar la zona haya un flujo más rápido, pero esto puede disminuir la fiabilidad o la capacidad de que esa abertura o vía de salida funcione consistentemente (véase tabla 4.4).

C. Enunciado 3.

En el enunciado 3, se destacan "cantidad" y un posible doble parámetro de "capacidad de movimiento" y "espacio". Estos se pueden relacionar con los parámetros 26 (cantidad de sustancia), 6 (área de un objeto estacionario) y 31 (factores nocivos generados por objetos). Al considerar el flujo como una sustancia y salvaguardarlo dentro de un depósito (vagón), se menciona la cantidad de sustancia que se mantiene, pero también se observa que el área se reduce debido al exceso de pasajeros, lo cual puede generar factores nocivos al reducir la capacidad de movimiento de las personas (véase tabla 4.4).

D. Enunciado 4.

En el enunciado 4 se presenta un problema, debido a su redacción está elaborada para explicar una contradicción física. Para superar este pequeño obstáculo y determinar los parámetros de cambio asociados a una contradicción técnica, existen dos formas posibles de resolución. Uno de ellos consiste en emplear la herramienta de contradicciones físicas (*Physical Contradictions*) de CREAX. En este modo, se aborda el problema desde tres perspectivas: temporal, espacial y de condición. Esto permite identificar y desplegar los parámetros correspondientes a cada una de estas perspectivas. O, la segunda opción para abordar esta situación es transformar la frase en una contradicción técnica.

Esta transformación se lleva a cabo mediante un proceso creativo, que implica reflexionar sobre una reformulación que describa la misma situación en términos técnicos y resuelva el dilema planteado en el enunciado original. De esta manera se obtiene otro enunciado más manejable para la búsqueda de sus parámetros de cambio.

- Reducir el tiempo del proceso garantiza su rapidez de ejecución, pero al mismo tiempo aumenta el riesgo de comprometer la seguridad de los usuarios.

Con esto, debido a el desarrollo de la nueva contradicción puede decirse que se destacan "velocidad" y "seguridad". Estos se pueden relacionar con los parámetros 9 (velocidad) y 30 (factores dañinos por el objeto, en este caso tiempo). El tiempo que dura el proceso puede incrementarse para mejorar la seguridad, pero esto puede crear factores nocivos debidos a este mismo. Sin embargo, si no se reduce el tiempo, el proceso no será lo suficientemente rápido para que los conductores sigan la ruta del tren, lo que afectará también la velocidad (véase tabla 4.4).

E. Enunciado 5.

En el enunciado 5, se destacan "duración" y "automatización", que se pueden relacionar con los parámetros 15 (duración de un objeto en movimiento, que en este caso es la duración del flujo) y 38 (alcance de la automatización), respectivamente. La duración del flujo es elegida por el conductor basándose en su percepción, lo cual no está automatizado. Por lo general, los conductores eligen una duración corta para acelerar el proceso para los usuarios del transporte (véase tabla 4.4).

F. Enunciado 6.

Y en el enunciado 6, sobresalen los parámetros “eficiencia” y “seguridad”. Se pueden ligar los parámetros 9 (velocidad) y 39 (productividad), y 30 (factores dañinos por el objeto, que este caso es por la inseguridad del flujo), respectivamente. La eficiencia con la que el flujo es realizado debe ser veloz y productivo, ya que la operación que se realiza al abrir las puertas puede ser realiza de manera eficiente, ahora, la seguridad sigue fijada a la integridad de los usuarios participantes en el proceso (véase tabla 4.4).

G. Parámetros de cambio.

| | Parámetro a mantener | Parámetro a mejorar | No. Relacionado P. mantener | No. Relacionado P. mejorar | Parámetros de Solución Obtenidos (véase en <u>anexo A3</u>) |
|----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | Orden | Espacio | 13 | 6 | 2,38 |
| 2 | Velocidad | Funcionalidad | 9 | 27 | 11,21,28,35 |
| 3 | Cantidad | Movimiento/Espacio | 26 | 6,31 | 2,3,4,18,24,39,40 |
| 4 | Velocidad | Seguridad | 9 | 30 | 1,23,28,35 |
| 5 | Duración | Automatización | 15 | 38 | 6,9 |
| 6 | Eficiencia | Seguridad | 9,39 | 30 | 1,13,22,23,24,28,35 |

Tabla 4.4: Relación de los parámetros de las contradicciones con los parámetros técnicos para su manejo en la matriz de contradicción y las soluciones obtenidas. Elaboración Propia.

Luego de obtener las soluciones generales a través de la matriz de contradicciones por función de los parámetros de cambios, el siguiente paso es aplicarlas a cada uno de los problemas planteados en los enunciados. Para lograr este propósito, es imprescindible dar inicio al proceso creativo y explorar soluciones específicas que aborden cada contradicción de manera individual. Una vez obtenidas estas soluciones específicas, es posible avanzar hacia la obtención de una solución general que englobe el problema en su totalidad. Este enfoque iterativo y detallado nos

permite enfrentar eficazmente los desafíos planteados y maximizar el impacto positivo de las soluciones propuestas en el ámbito que corresponda.

Es importante destacar que los enunciados, debido a su falta de precisión en la delimitación de los parámetros que deben vincularse con los componentes de un sistema técnico, surgido a partir del proceso creativo y de la percepción, podrían introducir sesgos en la búsqueda de la solución óptima más próxima al IFR. En consecuencia, resulta fundamental abordar esto último mencionado con atención, ya que la formulación errónea podría obstaculizar la identificación y consecución de la respuesta que mejor se ajuste a los parámetros deseados del sistema en cuestión, afectando de cierta manera la calidad y eficacia del resultado final.

4.3. Proceso Creativo (Uso de los 40 principios de solución).

Una vez que la matriz de contradicciones se ha establecido y que los puntos conflictivos han sido claramente identificados, se inicia un proceso creativo que se desencadena en una gran lluvia de ideas. En este apartado, se exploran diversas posibilidades y se generan múltiples propuestas concebidas para una solución integral y efectiva.

En primer lugar, es fundamental tener en cuenta que los parámetros de la solución se derivan de la matriz mediante una función. La matriz puede abordarse desde una perspectiva matemática que ofrezca las soluciones estándar (Véase en la ecuación 5.1).

$$SG = T(P, I)$$

Ecuación 5.1: Función de la matriz de soluciones.

Donde SG representa el vector o conjunto de soluciones generales o estándares que se derivan de la matriz. T denota la función de la matriz que toma dos números provenientes de los parámetros a preservar (P) y a mejorar (I). La matriz opera en base a la coincidencia de los valores de P en las filas y los valores de I en las columnas. De esta forma, esta coincidencia revela el conjunto de parámetros de solución correspondiente a dicho par de parámetros de cambio. (Véase en la matriz de soluciones del anexo 4).

No obstante, es de vital importancia resaltar que, en este punto específico de la metodología, se produce un cambio fundamental que lleva hacia una fase completamente orientada a la creatividad. Aquí, las directrices predefinidas ceden su espacio y el proceso se concentra en cultivar y fomentar la creatividad y la innovación en su forma más pura. Este cambio

trae consigo una serie de beneficios sustanciales, ya que la ausencia de restricciones permite que la libertad creativa florezca sin obstáculos. Además, esta libertad otorga la oportunidad de explorar en profundidad nuevas perspectivas y enfoques para abordar los problemas previamente identificados. Este tramo del proceso se convierte así en una creación desmedida de ideas frescas y visiones innovadoras que podrían marcar la diferencia en la resolución de los desafíos planteados.

Ahora, es necesario centrar las soluciones derivadas de la matriz, abordando individualmente cada enunciado. Es fundamental resolver cada problema centrándose únicamente en la contradicción descrita por dicho enunciado. Se debe evitar encontrar de manera prematura soluciones generales al problema. Para lograr esto, es necesario concentrar las ideas generadas de forma individual para cada enunciado, asegurándonos de diferenciar la solución para cada problemática o contradicción planteada. En este momento, no es deseable intentar ofrecer soluciones generales, sino más bien abordar cada contradicción de manera particular.

Se destaca que, como se mencionó previamente, la metodología TRIZ fue concebida originalmente para abordar problemas técnicos para la generación de patentes, centrándose en soluciones derivadas de la naturaleza física de los sistemas (por ejemplo, el parámetro no. 29 propone la sustitución de partes sólidas por elementos hidráulicos o gaseosos), no obstante, es posible adaptar y contextualizar las ideas generadas, permitiendo encontrar soluciones más adecuadas y pertinentes a esta situación en particular, además de que puede resultar desafiante ligar parámetros que pueden llegar a generar complejidad en el desarrollo de las ideas.

Vale la pena señalar que, en la búsqueda de los parámetros generales de solución, se empleó la herramienta disponible en el sitio web de *TRIZ40*. Esta elección se debe a la naturaleza simplificada de la herramienta, la cual facilita la mejora del procedimiento de obtención de los parámetros de solución al proporcionar directamente los valores numéricos asociados a cada solución efectiva. A diferencia de la alternativa de utilizar la sección de Contradictions de *CREAX* o de realizar el proceso manualmente a través de la matriz, que complican la identificación de los valores numéricos y lo hacen de manera menos directa. Además, *CREAX* no permite agregar más de un parámetro de cambio a mejorar o a preservar, cuando, se observa, para este paso es necesario.

4.3.1. Lluvia de Ideas.

A continuación, se presentan los parámetros de solución considerados en cada enunciado, relacionándolos con el contexto específico que se está abordando. Esto permitirá que la generación de ideas individuales se base en los parámetros extraídos de la matriz, pero aplicados a la situación específica en la que se busca obtener innovación (véanse tablas 4.5 – 4.10).

| A. Enunciado 1. | | | |
|--|---|----------------------------|-------------------------|
| La colocación de puntos de espera para los pasajeros que ingresan al vagón permite organizar una fila para los usuarios, pero reduce significativamente el espacio disponible en el andén. | | | |
| Parámetro a mantener | Orden | Parámetro a mejorar | Espacio |
| | 13 | | 6 |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 2. | Separación (Extracción): Extraer la parte o propiedad perturbadora de un objeto. Extraer sólo la parte o propiedad necesarias de un objeto. | | |
| 38 | Oxidantes fuertes (oxidación acelerada). Hacer la transición de un nivel de oxidación al siguiente nivel superior. | | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | | Ligada al PS No. |
| 1.1) | Crear pilas de usuarios para limitar la cantidad de pasajeros que abordarían el tren. | | 2 |
| 1.2) | Restringir el acceso de pasajeros al tren hasta que los que quieran descender lo hagan. Esto es común, pero a menudo, por falta de tiempo, algunos pasajeros ingresan mientras otros están bajando. Por eso, se pueden establecer dos intervalos diferentes para ascenso y descenso, y colocar puertas o bardas en el andén para facilitar el flujo de entrada y salida de los pasajeros. | | |
| 1.3) | Solo permitir usuarios en el andén que tengan intención de abordar un convoy, si persisten personas que no lo tengan, pedirles el desalojo del andén o restringirles el acceso al mismo | | |

| | | |
|------|--|----|
| 1.4) | Aumentar el número de trenes que circulan en la red. | 38 |
| 1.5) | Ampliar el espacio en el andén. | |

Tabla 4.5: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 1. Elaboración Propia.

| B. Enunciado 2. | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| La creación de un espacio de salida amplia para los pasajeros que descienden del vagón agiliza el proceso, pero su funcionalidad se ve condicionada por la cantidad de personas sobre el andén. | | | |
| Parámetro a mantener | Velocidad | | Funcionalidad |
| | 9 | | 27 |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 11 | Compensación de antemano. Compensar la confiabilidad baja de un objeto con medidas de emergencia preparadas anticipadamente. | | |
| 21 | Apresuramiento. Efectuar acciones peligrosas a mucha velocidad. | | |
| 28 | Sustitución de la interacción mecánica (uso de campo magnético, eléctrico, térmico y otros). Reemplazar un sistema mecánico con otro óptico, acústico, térmico u olfatorio. Emplear un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con un objeto. Suplir campos que son estáticos con dinámicos, fijos en el tiempo con cambiantes, aleatorios con deterministas. Usar campos conjuntamente con partículas ferromagnéticas. | | |
| 35 | Cambios de parámetros (transformación de propiedades). Cambiar el estado físico del sistema. Cambiar la concentración o densidad. Cambiar el grado de flexibilidad. Cambiar la temperatura o volumen. | | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | | Ligada al PS No. |
| 2.1) | Permitir una plataforma móvil en la otra vía, de tal manera que se permita el descenso por uno de los lados del tren y el ascenso en el otro (configuración imposibilitada para las estaciones tipo isla). | | 11 |
| 2.2) | Crear una segunda estación contigua o alargar la estación que, permitiendo la salida de pasajeros de la primera parte de la estación y la entrada de parte de la otra, o se permita tener más vagones u otro tren a lo largo de la estación. | | |

| | | |
|-------------|---|----|
| 2.3) | Reconstrucción de estaciones con solución Barcelona. | |
| 2.4) | Restringir el acceso de pasajeros que quieran ascender al tren hasta que los pasajeros que tengan intención de descender lo hagan. Esto es lo que comúnmente debe realizarse por parte de la gente, aunque muchas veces, por el poco tiempo que el conductor da para que este proceso pueda realizarse con efectividad, los pasajeros optan por ingresar aun cuando existen personas continúan descendiendo. Es por eso por lo que la restricción se puede realizar marcando dos diferentes lapsos, uno para el ascenso y otro para el descenso, además de colocar puertas o bardas sobre el andén que permitan el acceso y la salida de los pasajeros de entrada y salida del tren, respectivamente. | |
| 2.5) | Permitir el descenso de forma unilateral a través del primer y el último vagón y el ascenso en los interiores del tren. | 35 |

Tabla 4.6: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 2. Elaboración Propia.

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------|
| C. Enunciado 3. | | | |
| Al colocar asientos, sujeta manos y pasajeros que no descenderán del tren en el mismo junto a los pasajeros que sí descienden, se permite transportar un mayor número de usuarios, pero esto restringe excesivamente el movimiento y el espacio para la salida de estos últimos. | | | |
| Parámetro a mantener | Cantidad | Parámetro a mejorar | Movimiento/Espacio |
| | 26 | | 6,31 |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 2 | Separación (extracción). Extraer la parte o propiedad perturbadora de un objeto. Extraer sólo la parte o propiedad necesarias de un objeto. | | |
| 3 | Calidad local. Transición de una estructura homogénea de un objeto a otra heterogénea. Partes diferentes de un objeto deberán realizar funciones diferentes. Cada parte de un objeto deberá colocarse bajo las condiciones que sean las más favorables para su operación. | | |
| 4 | Cambio de simetría. Reemplazar las formas simétricas con asimétricas y viceversa. | | |
| 18 | Vibración mecánica. Emplear la oscilación. Si ya existe la oscilación, aumentar su frecuencia a ultrasónica. Usar la frecuencia de resonancia. Reemplazar las vibraciones | | |

| | mecánicas con piezovibraciones. Aprovechar las vibraciones ultrasónicas conjuntamente con un campo electromagnético. | |
|------|--|------------------|
| 24 | Mediador o intermediario. Dedicar un objeto intermediario para transferir o efectuar una acción. Conectar temporalmente al objeto original otro que pueda quitarse fácilmente. | |
| 39 | Atmósfera inerte (medio ambiente inerte). Suplir el medio ambiente normal con uno inerte. Introducir una sustancia neutral o aditivos en un objeto. Efectuar el proceso en el vacío. | |
| 40 | Materiales compuestos. Sustituir materiales homogéneos con compuestos | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | Ligada al PS No. |
| 3.1) | Reubicación, reacomodo (y posible reducción) de los asientos y sujetamanos dentro del tren, para permitir mayor espacio dentro del vagón y restringir su disponibilidad para personas con discapacidad. | 2 |
| 3.2) | Permitir la entrada en unas puertas y salida en otras, de manera que exista un flujo de pasajeros dentro del vagón. | 3 |
| 3.3) | Creación de rutas express u otras terminales en diversas líneas. | |
| 3.4) | Aumentar el tamaño de los vagones, de tal manera que aumente su capacidad de usuarios. | |
| 3.5) | Cambiar la forma interna del vagón, de manera que los pasajeros que no desciendan puedan mantenerse en lugares o puntos de confort dentro del vagón, mientras que las personas que si pretendan bajar tengan mejor movilidad al hacerlo. | 4 |
| 3.6) | Sustituir los trenes con aquellos que cuenten con pasillo diáfano (entre vagones) donde se permita que los pasajeros puedan cambiar de vagón durante el viaje si es que lo requieren. | 24 |

Tabla 4.7: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 3. Elaboración Propia.

D. Enunciado 4.

Es necesario establecer un lapso suficientemente amplio para garantizar la seguridad de los pasajeros durante el flujo, pero al mismo tiempo, debe ser lo suficientemente corto para que el proceso sea ágil y eficiente.

| Parámetro a mantener | Velocidad | Parámetro a mejorar | Seguridad |
|----------------------|--|-------------------------|-----------|
| | 9 | | 30 |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 1 | Segmentación (fragmentación). Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un objeto con secciones para facilitar su ensamble y desensamble. Aumentar el grado de segmentación de un objeto. | | |
| 23 | Realimentación. Introducir la realimentación. Si ya existe, cambiarla. | | |
| 28 | Sustitución de la interacción mecánica (uso de campo magnético, eléctrico, térmico y otros). Reemplazar un sistema mecánico con otro óptico, acústico, térmico u olfatorio. Emplear un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con un objeto. Suplir campos que son estáticos con dinámicos, fijos en el tiempo con cambiantes, aleatorios con deterministas. Usar campos conjuntamente con partículas ferromagnéticas. | | |
| 35 | Cambios de parámetros (transformación de propiedades). Cambiar el estado físico del sistema. Cambiar la concentración o densidad. Cambiar el grado de flexibilidad. Cambiar la temperatura o volumen. | | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | Ligada al PS No. | |
| 4.1) | Creación de rutas express u otras terminales en diversas líneas. | 1 | |
| 4.2) | Hacer trenes con diferentes números de vagones. | | |
| 4.3) | Generar tiempos diversos para las distintas estaciones. | | |
| 4.4) | Añadir un proceso automático al sistema de tiempo. | 23 | |
| 4.5) | Limitar el acceso de la gente al andén (y si es posible a la estación, para estaciones sin correspondencia) con un contador que contabilice el número de pasajeros que acceden a los vagones o a las estaciones. | | |
| 4.6) | Hacer que el tiempo sea excesivo (de no más de 2 a 5 minutos). | 40 | |

Tabla 4.8: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 4. Elaboración Propia.

| E. Enunciado 5. | | | |
|--|--|----------------------------|-------------------------|
| Brindar la opción al conductor de determinar el lapso en el que se realiza el flujo de pasajeros permite agilizar el proceso, pero lo hace menos automático y sujeto a la toma de decisiones individuales. | | | |
| Parámetro a mantener | Duración | Parámetro a mejorar | Automatización |
| | 15 | | 38 |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 6 | Multifuncionalidad. Un objeto puede ejecutar varias funciones diferentes; por consiguiente, pueden quitarse otros elementos. | | |
| 9 | Reacción preliminar. Pretensado de un objeto para compensar el esfuerzo excesivo e indeseable. | | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | | Ligada al PS No. |
| 5.1) | Utilizar modelos avanzados, con video o imágenes que estimen la entrada o salida de pasajeros del vagón. | | 6 |
| 5.2) | Utilizar un autómatas con señal digital y sensores para detectar el paso de usuario que entran y salen del vagón y contar un tiempo extras después de que ya no haya flujo. | | 9 |
| 5.3) | Utilizar ciertos vagones para la gente con capacidades diferentes. | | |
| 5.4) | Apoyo con botones de retraso. | | |
| 5.5) | Exhortar a la gente que se permite la entrada de cierta cantidad de personas al vagón. | | |
| 5.6) | Contabilización de personas en el tren para que solo permita la entrada hasta cierto valor. | | |
| 5.7) | Poner guardias de seguridad que regulen el tránsito de personas dentro y fuera del tren y vigilen la cantidad de personas en el tren, comunicándose con el conductor si hay la capacidad del tren está en su máximo. | | |

| | | |
|-------------|---|--|
| 5.8) | Capacitar al conductor para verificar mejor los tiempos de apertura de puertas. | |
|-------------|---|--|

Tabla 4.9: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 5. Elaboración Propia.

| F. Enunciado 6. | | | |
|---|---|--|----------------------------|
| Permitir el flujo sincronizado de pasajeros que ingresan y salen del tren podría acelerar el proceso, pero plantea problemas de seguridad y eficiencia. | | | |
| Parámetro a mantener | Eficiencia | | Parámetro a mejorar |
| | 9,39 | | Seguridad |
| | 30 | | |
| No. | Parámetros de solución obtenidos. | | |
| 1 | Segmentación (fragmentación). Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un objeto con secciones para facilitar su ensamble y desensamble. Aumentar el grado de segmentación de un objeto. | | |
| 13 | Hacerlo en reversa. En lugar de la acción directa dictada por un problema, instrumentar una acción opuesta. Por ejemplo, enfriar en lugar de calentar. Hacer estática la parte móvil de un objeto o de su entorno. Voltrear un objeto de arriba hacia abajo. | | |
| 22 | Convertir daño en beneficio. Aprovechar los factores dañinos, especialmente ambientales, para obtener un efecto positivo. Remover un factor nocivo combinándolo con otro factor indeseable. Aumentar el grado de la acción perniciosa a un grado que cese de ser perjudicial. | | |
| 23 | Realimentación. Introducir la realimentación. Si ya existe, cambiarla. | | |
| 24 | Mediador o intermediario. Dedicar un objeto intermediario para transferir o efectuar una acción. Conectar temporalmente al objeto original otro que pueda quitarse fácilmente. | | |
| 28 | Sustitución de la interacción mecánica (uso de campo magnético, eléctrico, térmico y otros). Reemplazar un sistema mecánico con otro óptico, acústico, térmico u olfatorio. Emplear un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con un objeto. Suplir | | |

| | | |
|-------------|---|-------------------------|
| | campos que son estáticos con dinámicos, fijos en el tiempo con cambiantes, aleatorios con deterministas. Usar campos conjuntamente con partículas ferromagnéticas. | |
| 35 | Cambios de parámetros (transformación de propiedades). Cambiar el estado físico del sistema. Cambiar la concentración o densidad. Cambiar el grado de flexibilidad. Cambiar la temperatura o volumen. | |
| No. | Lluvia de ideas (Soluciones a la contradicción) | Ligada al PS No. |
| 6.1) | Utilizar una plataforma movable en la otra vía, de tal manera que se permita el descenso por uno de los lados del tren y el ascenso en el otro (configuración imposibilitada para las estaciones tipo isla). | 1 |
| 6.2) | Exhortar a todos los pasajeros del tren a descender y permitir nuevamente que se reintegren en conjunto con los usuarios que tengan la intención de ascender. | 13 |
| 6.3) | Poner guardias de seguridad que regulen el tránsito de personas dentro y fuera del tren y vigilen la cantidad de personas en el tren, comunicándose con el conductor si hay la capacidad del tren está en su máximo. | 24 |
| 6.4) | Reconstrucción de estaciones con solución Barcelona. | |
| 6.5) | Restringir el acceso de pasajeros al tren hasta que los que quieran descender lo hagan. Esto es común, pero a menudo, por falta de tiempo, algunos pasajeros ingresan mientras otros están bajando. Por eso, se pueden establecer dos intervalos diferentes para ascenso y descenso, y colocar puertas o bardas en el andén para facilitar el flujo de entrada y salida de los pasajeros. | 35 |
| 6.6) | Aumentar el tamaño de las puertas, y por ende de los vanos, de tal manera que se reduzca la resistencia del flujo. | |

Tabla 4.10: Lluvia de ideas con las soluciones individuales para la contradicción del enunciado 6. Elaboración Propia.

Después de la fase de generación de ideas, mediante la lluvia de ideas, se abre la posibilidad de definir una solución general e integral que unifique las diversas propuestas para abordar cada una de las contradicciones identificadas.

Estas opciones buscan optimizar la movilidad y seguridad de los usuarios, adaptándose a las particularidades de cada estación y sus necesidades específicas. No obstante, es necesario recordar que cada contradicción requiere una solución o enfoque adecuado para abordar su problemática. Por esta razón, se empleará la herramienta de análisis sustancia – campo para determinar la solución más cercana al IFR, la cual pueda combatir el problema óptimamente.

4.4. Análisis Sustancia – Campo (Su-Field).

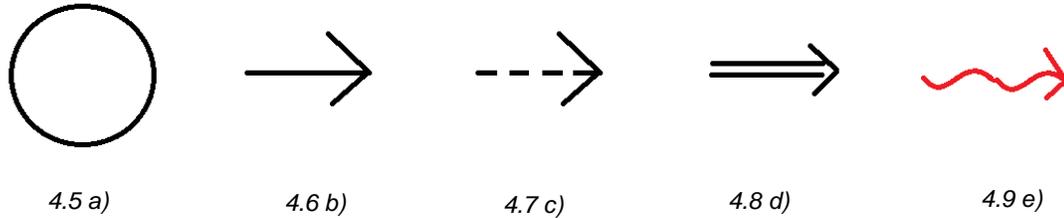
El análisis sustancia-campo es una herramienta de TRIZ que se utiliza para comprender los principales elementos y fuerzas que intervienen en un problema o situación. El objetivo del Su-Field es identificar los elementos que son favorables para lograr el objetivo deseado y aquellos que actúan como obstáculos o dificultades en el proceso. De esta manera, se busca encontrar soluciones innovadoras y eficientes para superar las contradicciones presentes en el sistema.

El análisis Su-Field tiene como objetivo la modelación de situaciones problemáticas en sistemas complejos y la generación de enfoques novedosos para resolverlas. Es una herramienta empleada en la definición de sistemas técnicos, ofreciendo recomendaciones para optimizar su funcionamiento de manera óptima. (CREAX, 2005)

Al realizar análisis en el ámbito de las sustancias y los campos, resulta esencial considerar que dentro de los modelos existen, al menos, dos sustancias y un campo presente en cada nivel sistemático. Estos modelos se clasifican en cuatro tipos básicos. (CREAX, 2005) Cada uno de estos modelos ofrece un enfoque específico para analizar y abordar los desafíos y problemas en los sistemas, permitiendo así identificar las soluciones adecuadas a cada situación particular (véanse figuras 4.5 – 4.9).

- **Modelo de un sistema incompleto:** Este tipo de modelo requiere un complemento o la incorporación de un nuevo sistema para que pueda funcionar de manera deseada.
- **Modelo de un sistema completo pero inefectivo:** Aquí, se demandan mejoras con el fin de lograr un funcionamiento deseado para el sistema.
- **Modelo de un sistema dañino:** En este caso, es necesario eliminar el efecto dañino que afecta al sistema.

- **Modelo de un sistema completo y efectivo:** Este modelo representa un sistema que muestra efectos deseados y opera de manera satisfactoria.



Figuras 4.5 – 4.9: Representación de una a) sustancia o campo, b) una interacción con efecto deseado, c) una interacción con efecto insuficiente, d) una interacción con efecto excesivo y e) una interacción con efecto dañino.

Elaboración Propia.

En caso de que alguno de los tres elementos no esté presente, el análisis Su-Field proporciona orientación para su incorporación en el modelo y brinda direcciones para fomentar el pensamiento innovador. Cuando los tres elementos necesarios están disponibles, el análisis puede ofrecer sugerencias sobre cómo ajustar el sistema para alcanzar un rendimiento óptimo.

Empleando las ideas de cada contradicción como componentes para el análisis Su-Field, se procede a utilizar el diagrama correspondiente para representar cada una de estas situaciones conflictivas. Después, se procederá a realizar una selección con el fin de determinar de manera concreta cuál de las ideas ofrece la mejor solución al problema.

Para construir un modelo sustancia - campo, se deben identificar los elementos del sistema, incluyendo las sustancias y el campo que actúa sobre ellas. Luego, se dibujan las relaciones entre los elementos utilizando líneas que representan el efecto deseado, el efecto deseado insuficiente y el efecto dañino.

En primer lugar, se requiere clasificar el modelo en función de su idealidad para la solución. Si se considera que el modelo representa un sistema incompleto, será necesario agregarle un elemento o sistema que compense o elimine cualquier contradicción existente. Por otro lado, si el modelo se considera completo pero inefectivo, será necesario cambiar o modificar uno de los elementos para mejorar su funcionalidad.

Ahora bien, si el modelo se identifica como dañino, debe haber interacciones dañinas entre las sustancias para definirlo como tal. En caso contrario, no es posible etiquetarlo como dañino, y en ese escenario se pueden aplicar las estrategias de los dos tipos de modelos anteriores para

mejorar el efecto entre las sustancias. Cabe mencionar que el modelo de la última contradicción es el único que puede ser catalogado como dañino, debido a la interacción del flujo. Los demás tienen la opción de ser incompletos o completos pero inefectivos.

De esta forma, es posible abordar la inefectividad con las dos primeras categorías para el modelo. Una opción es incorporar un tercer elemento o un nuevo sistema. Otra alternativa sería realizar modificaciones en una de las sustancias ya existentes para mejorar su funcionamiento.

Una vez que se ha establecido la categoría del modelo, es importante determinar qué tipo de soluciones se generarán a través de la lluvia de ideas para modificarlo. Estas soluciones deben apuntar a añadir o cambiar sustancias o sistemas de manera que el modelo se transforme en uno completo y efectivo, con el fin de resolver el problema o la contradicción dictada.

Desde la perspectiva de TRIZ, la sustancia representa los elementos esenciales o recursos fundamentales que integran un sistema. Estos elementos pueden ser tangibles o intangibles, abarcando objetos, ideas, procesos o funciones. Por otro lado, el campo constituye el entorno o contexto en el cual interactúan las sustancias involucradas, manifestándose a través de sus interacciones. De una vez se menciona que el campo, para este caso, es el metro de la CDMX.

Es necesario tener en cuenta estas definiciones para desarrollar modelos adecuados para cada contexto o situación que impida alcanzar el Resultado Ideal Final (IFR). Al comprender cómo las sustancias interactúan en su entorno, se pueden identificar oportunidades para mejorar el sistema y alcanzar soluciones innovadoras.

En *CREAX*, se emplea la herramienta *Su-Field* para incorporar soluciones que mejoren la integración o realicen modificaciones en sistemas considerados incompletos o ineficaces. Para este caso, este análisis tendrá un objetivo distinto, ya que permitirá identificar la solución que se acerque más al IFR. A través de las soluciones generadas mediante sesiones de lluvia de ideas, se determinará si cada contradicción afecta el desarrollo del proceso deseado, abordándolas como problemas de incompletitud o ineficacia en los sistemas.

4.4.1 Modelos *Su-Field*.

Los modelos son elaborados a partir de contradicción específica, ya que estos enunciados encapsulan una problemática en particular. A través de la lluvia de ideas sobre cada una de estas contradicciones, junto con la aplicación del principio de idealidad, que se define como el IFR, se

puede llevar a cabo el análisis Su-Field. De esta forma, se busca obtener la mejor solución que se acerque a la necesidad que se desea cubrir. (CREAX, 2005)

Al igual que con los modelos de funciones, los modelos Su-Field fueron realizados en Power Point, esta vez, debido a que el campo no puede modificarse a uno no técnico en la herramienta de CREAX, ya que está restringido a campos técnicos solamente. Al igual que la representación de funciones, las flechas que indican interacciones suficientes se muestran en azul con un trazo delgado, mientras que las flechas que denotan interacciones insuficientes se presentan en azul en forma de trazos punteados. Aquellas flechas que representan interacciones excesivas se muestran en azul con un trazo grueso, y finalmente, las interacciones perjudiciales se destacan con flechas rojas.

A. 6ta contradicción.

Comenzando por la sexta y última contradicción, que involucra la problemática general del proceso, siendo esta es la razón por la cual se decide analizarla inicialmente. Se destaca que el flujo bidireccional, que permite tanto el ascenso como el descenso de pasajeros al mismo tiempo, genera una situación insegura e ineficiente (véase figura 4.10). Se sugiere que esta característica esté estrechamente relacionada con la eficiencia del proceso debido a su interacción perjudicial.

En este caso particular, es esencial dirigir la solución hacia la situación perjudicial enfatizada en la contradicción. Para lograrlo, se requiere la elaboración de una tabla que contenga las ideas generadas para abordar las desventajas asociadas con la solución del problema. Es importante destacar que el enfoque principal debe estar en la resolución de la interacción dañina que se presenta, mientras que los demás aspectos se consideran secundarios.

Cada concepto expone desventajas primarias y secundarias. Esta distinción tiene el propósito de identificar los problemas que podrían obstaculizar al IFR, así como otros aspectos que generarían efectos no deseados y perjudiciales, respectivamente.

La tabla muestra que, las soluciones que atacan la problemática son las últimas tres, cada una en mayor y menor medida que las otras (véase tabla 4.11).

- La solución planteada para Barcelona implica un cambio estructural en la estación, lo que ocasiona la interrupción del servicio durante el proceso de reconstrucción. Este período puede ser muy limitado, aunque también es posible que el proyecto no sea viable debido a

su elevado coste. No obstante, una vez que las estaciones estén reconstruidas, el flujo de pasajeros se dirigiría en una sola dirección.

- Un nuevo sistema de restricción sería implementado para regular el ingreso organizado de usuarios al tren. Este sistema introduce un cambio en el proceso en el andén, ya que ahora enfoca únicamente en el proceso de ingreso, manteniendo a las personas que desean abordar el tren en espera mientras permite una salida libre para los pasajeros que desean descender. No obstante, este sistema considera la incorporación de elementos que controlan y permiten el paso de manera más regulada, tales como puertas y bardas colocadas en el andén. Estos elementos, a su vez, tienen un impacto en la cantidad de personas que pueden abordar cada tren que llega a la estación, además de que al incorporar elementos automáticos requiere de una paulatina supervisión y mantenimiento.
- Una solución adicional para aumentar la capacidad de tránsito del flujo sería considerar la extensión de las puertas de los trenes. Los trenes del metro tienen puertas que miden 1.30 m de longitud, lo que permite el paso simultáneo de tres personas. Si se considerara aumentar esta medida a 2.0 m, se posibilitaría que cuatro personas pudieran pasar al mismo tiempo. No obstante, lograr esto requeriría una reconstrucción o rediseño de los trenes actuales, o incluso la adquisición de unidades nuevas.

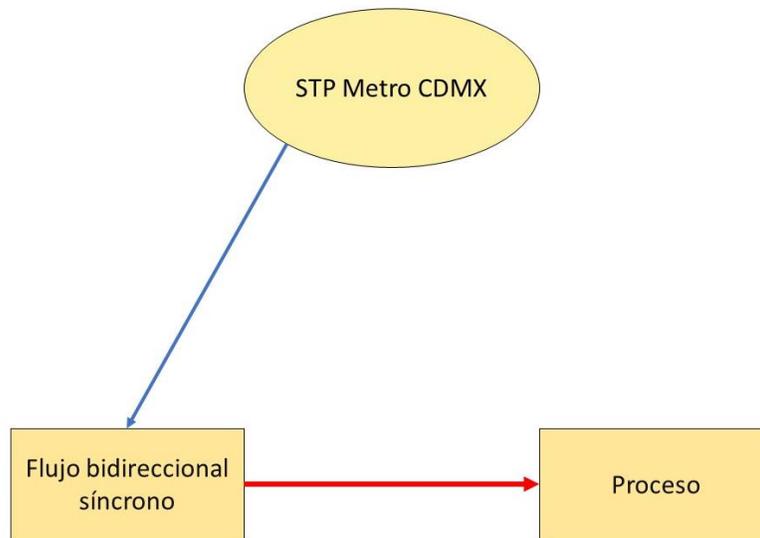


Figura 4.10: Diagrama Su-Field con una interacción de efecto dañino provocado por el flujo hacia el proceso. Elaboración propia.

| Solución No. (véase tabla 4.10) | Descripción | Desventajas |
|---------------------------------|--|---|
| 6.1) | El flujo de descenso se llevaría a cabo por el lado opuesto del a la apertura de puertas del tren. | <p>Principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La solución no es viable para estaciones de tipo isla. • Puede haber un aumento en el tiempo del proceso. • La seguridad podría comprometerse si un usuario intenta regresar al tren mientras la plataforma se encuentra en despliegue. <p>Secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si hay un tren en la vía opuesta, la solución queda imposibilitada. • La implementación de la plataforma conllevaría un coste elevado. |
| 6.2) | Inicialmente, el flujo será unidireccional hacia el exterior; posteriormente, una vez que el tren esté vacío, el flujo volverá a ser unidireccional hacia el interior. | <p>Principal:</p> <p>A. El proceso tomaría más tiempo.</p> <p>Secundaria:</p> <p>B. Si la estación y el tren están abarrotados de personas, el flujo en el andén se volvería considerablemente más caótico.</p> |
| 6.3) | Los usuarios deben seguir un flujo unidireccional, primero de salida según las indicaciones de los guardias y luego de entrada, con la posibilidad de proporcionar retroalimentación al conductor. | <p>Principal:</p> <p>C. Los guardias ocupan espacio tanto dentro del vagón como en el andén.</p> <p>Secundaria:</p> <p>D. Los usuarios recibirían únicamente recomendaciones, lo que podría llevar a que ignoren las instrucciones.</p> |
| 6.4) | La salida se dirigiría hacia uno | Sin desventajas principales. |

| | | |
|------|--|---|
| | de los andenes, mientras que la entrada sería a través del otro. | <p>Secundaria:</p> <p>E. La reconstrucción resulta ser un proceso que demanda tiempo y recursos significativos. Además, durante este período, se imposibilita el tránsito de trenes a través de la estación en cuestión. Por consiguiente, será necesario suspender temporalmente el servicio en esa estación hasta que se complete exitosamente la labor de reconstrucción.</p> |
| 6.5) | El nuevo sistema integrado permitiría que el flujo salga antes que entre, lo que resultaría en mejoras tanto en la velocidad como en la seguridad del proceso. | <p>Principal:</p> <p>F. La desorganización podría surgir si las personas no siguen las instrucciones.</p> |
| | | <p>Secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aunque el sistema podría ser un poco costoso, su precio es menor que el de la reconstrucción de la estación mediante la solución de Barcelona; no obstante, sigue siendo un gasto considerable. • Su operación demanda constante observación, funcionalidad ininterrumpida y un mantenimiento gradual. |
| 6.6) | El flujo en ambas direcciones contaría con un mayor espacio disponible y una resistencia reducida. | <p>Principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El flujo continuaría siendo bidireccional y aún podría conservar, aunque en menor medida, la inseguridad de los usuarios y la falta de eficacia. |
| | | <p>Secundaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sería necesario considerar la reconstrucción o adquisición de nuevos trenes, lo que resultaría en un aumento de los costos. |

Tabla 4.11: Análisis Su-Field de la contradicción 6. Elaboración Propia.

B. 1era contradicción.

En la primera contradicción, se plantea que el orden se establece al colocar puntos de espera a lo largo del andén, lo que facilita mantener a los usuarios en una formación ordenada. Sin embargo, esta organización puede dar lugar a dificultades en situaciones de alta afluencia de personas, dado que ocupa espacio y limita el movimiento de los pasajeros que desembarcan del tren en el andén (véase figura 4.11).

Las dos principales entidades que interactúan son los pasajeros esperando la llegada del tren y los espacios designados para la espera. Estos espacios tienen la función de mantener a las personas organizadas durante la espera. No obstante, la falta de suficientes puntos de espera en comparación con el gran número de usuarios conduce a una deficiente organización, y por el contrario, si se aumenta el cantidad de puntos a lo largo, podría consumirse en mayor medida el espacio sobre el andén (véase tabla 4.12).

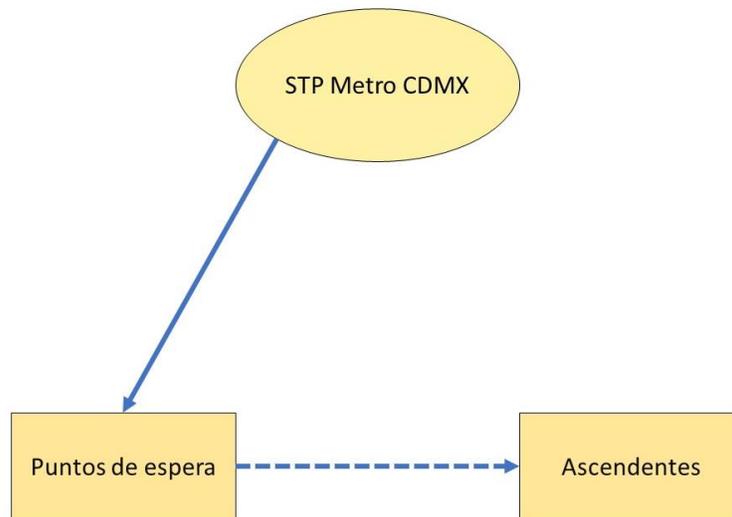


Figura 4.11: Diagrama Su-Field con una interacción con efecto insuficiente provocado por los puntos de espera hacia los usuarios con intención de ascender a los vagones.

| Solución No. (véase tabla 4.5) | Modelo que mejoraría | Descripción | Efectividad |
|--------------------------------|--------------------------|---|---|
| 1.1) | Completo pero inefectivo | El acceso de pasajeros a través de las pilas estará restringido en términos de capacidad. | Media: Es necesario que los usuarios colaboren para evitar contratiempos. |

| | | | |
|------|--------------------------|---|--|
| 1.2) | Incompleto | Se contempla la implementación de un sistema de control en el andén para regular la entrada limitada de pasajeros al tren. | Media: Aunque el sistema posibilita un acceso apropiado, podría generar impaciencia entre los usuarios que no aborden el tren rápidamente. |
| 1.3) | Completo pero inefectivo | Se procederá al desalojo de individuos que ingresen al andén sin tener la intención de abordar un tren, con el fin de preservar el espacio disponible. | Baja: Aun así, es posible que haya una considerable cantidad de pasajeros interesados en subir al tren. |
| 1.4) | | Se busca incrementar la frecuencia de circulación de trenes para acomodar a un mayor número de pasajeros. | Media: Existe la posibilidad de que la red de trenes se sature, por lo que se debe determinar un número óptimo. |
| 1.5) | | Se permitirá una mayor densidad de personas en el andén y se optimizará el espacio para facilitar la movilidad tanto de los que abordan como de los que descienden de los trenes. | Alta: Mediante la ampliación del andén, se crearía un espacio adicional para que los usuarios se organicen. |

Tabla 4.12: Análisis Su-Field de la contradicción 1. Elaboración Propia.

C. 2da contradicción.

El segundo enunciado señala que la rapidez con la que los pasajeros abandonan el tren depende de la vía o ruta de salida utilizada para descender hacia el andén. Su funcionalidad se encuentra condicionada por la cantidad de personas presentes en el andén o, en otras palabras, por la disponibilidad de espacio en la zona (véase figura 4.12 y tabla 4.13).

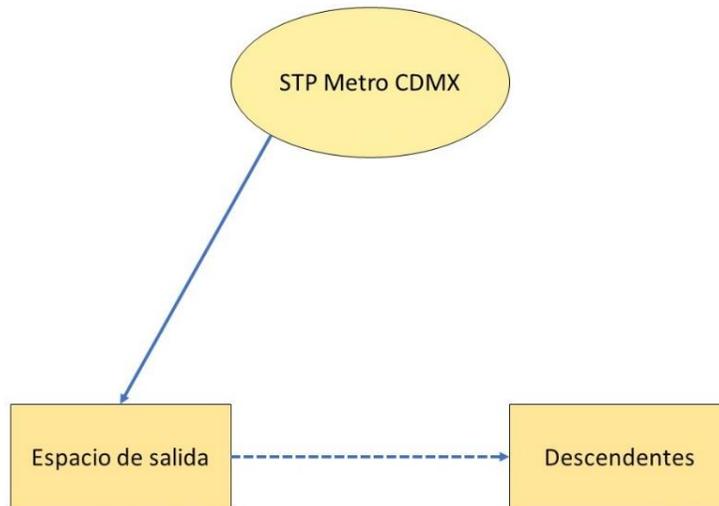


Figura 4.12: Diagrama Su-Field con una interacción con efecto insuficiente provocado por el espacio de salida hacia los pasajeros con intención de descender de los vagones.

| Solución No. (véase tabla 4.6) | Modelo que mejoraría | Descripción | Efectividad |
|--------------------------------|----------------------|--|--|
| 2.1) | Incompleto | El proceso sería más eficiente al posibilitar que los usuarios salgan de un extremo del tren, manteniendo su funcionalidad. | Baja: Las estaciones tipo isla presentan una limitación para implementar esta solución, agravada por el tiempo necesario para instalar la plataforma, lo que impactaría en la velocidad. |
| 2.2) | | El tren se posicionaría en la estación de manera que los pasajeros puedan descender primero, luego avanzaría para permitir la entrada de otros usuarios. | Media: La velocidad del servicio se ve influenciada por la duración del desplazamiento y la detención del tren en dos puntos dentro de la estación. |
| 2.3) | | Se agilizaría el proceso al permitir que los pasajeros salgan por un lado del tren y que nuevos usuarios ingresen por el otro. | Alta: La eficiencia del proceso está directamente relacionada con la cantidad de usuarios que deseen abordar o descender del tren, sin depender de un tercer factor. |

| | | | |
|------|--------------------------|---|---|
| 2.4) | | El ingreso al tren está sujeto a una cantidad limitada de personas. | Media: Aunque el sistema garantizaría un acceso adecuado, existe la posibilidad de que los usuarios se impacienten si no logran abordar el tren de manera expedita. |
| 2.5) | Completo pero inefectivo | Los pasajeros acceden al tren a través de ciertos vagones, mientras que la salida se realiza por otros. | Media: Los usuarios pueden verse obligados a desplazarse dentro del vagón incluso cuando este se encuentre en movimiento. |

Tabla 4.13: Análisis Su-Field de la contradicción 3. Elaboración Propia.

D. 3ra contradicción.

El tercer enunciado describe una situación dentro del vagón, en la que la gran cantidad de pasajeros dificulta la movilidad de aquellos que desean descender del tren. El reducido espacio debido a la gran cantidad de personas, así como la presencia de asientos y sujeta manos, añaden complicaciones adicionales a la situación. No obstante, esto también permite el transporte de una gran cantidad de personas, lo que es un aspecto positivo a tener en cuenta (véase figura 4.13 y tabla 4.14).

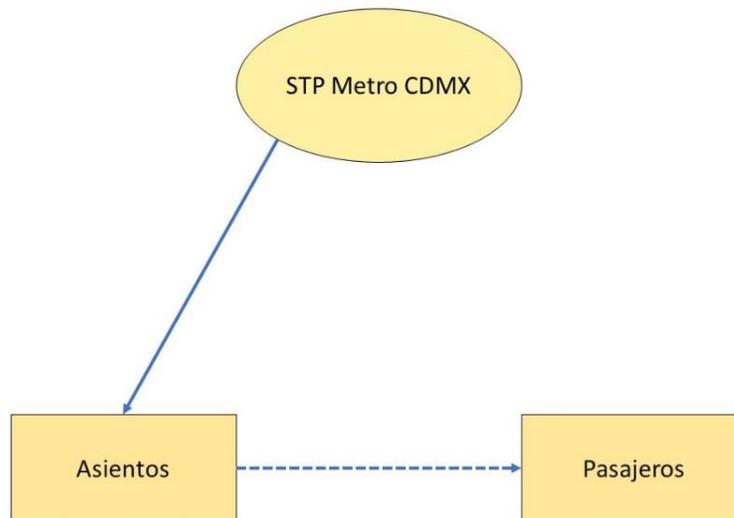


Figura 4.13: Diagrama Su-Field con una interacción con efecto insuficiente provocado por los asientos en los trenes hacia los pasajeros dentro de los vagones.

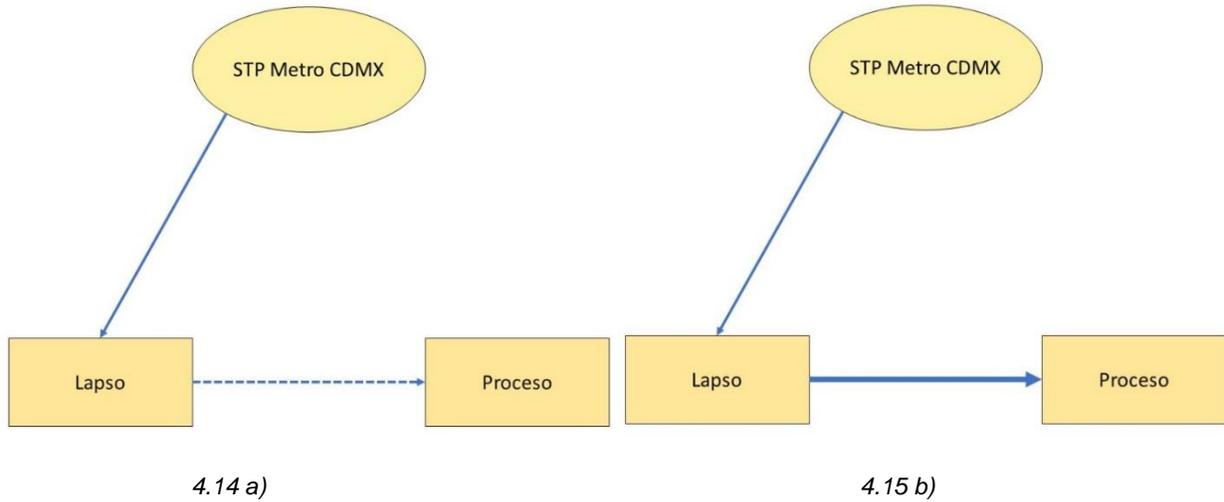
| Solución No. (véase tabla 4.7) | Modelo que mejoraría | Descripción | Efectividad |
|--------------------------------|--------------------------|--|--|
| 3.1) | Completo pero inefectivo | Se incrementaría el interior de los vagones al minimizar los elementos presentes. | Alta: Ampliar el espacio permitiría a los pasajeros tener una mayor libertad de movimiento al entrar y salir del tren. |
| 3.2) | | El acceso al tren se realiza mediante ciertos vagones, mientras que la salida se efectuaría a través de otros. | Baja: Los usuarios se ven obligados a desplazarse dentro del vagón incluso cuando este posiblemente está en movimiento. |
| 3.3) | Incompleto | Los trenes de estas rutas únicamente efectuarían paradas en estaciones específicas. | Alta: La incorporación de estas rutas brinda a los usuarios la opción de elegir trenes que solo se detengan en ciertas estaciones. |
| 3.4) | Completo pero inefectivo | Los vagones experimentarían una expansión en su tamaño, resultando en un mayor espacio disponible. | Alta: Incrementar el espacio posibilitaría una mayor libertad de movimiento para los pasajeros al entrar y salir del tren. |
| 3.5) | | Los vagones ofrecerían comodidades a los usuarios solo en áreas designadas, lo que reduciría la resistencia en el flujo. | Media: No se ha considerado la posibilidad de moverse con más agilidad en situaciones concurridas. |
| 3.6) | | Se habilitaría la movilidad de los usuarios entre distintos vagones. | Alta: Se contempla una expansión del espacio disponible. |

Tabla 4.14: Análisis Su-Field de la contradicción 3. Elaboración Propia.

E. 4ta contradicción.

El cuarto enunciado señala que el proceso no se realiza de manera óptima debido al lapso en el que se lleva a cabo (véase tabla 4.15). Al surgir esta contradicción de una con naturaleza física, que requiere la obtención de un tiempo preestablecido o calculado durante la ejecución de un proceso, se emplean dos diagramas, se requiere representar tanto el desafío derivado del

exceso de tiempo como el que resulta de la falta de tiempo necesario para llevar a cabo la acción de apertura de puertas en las estaciones de la red (véanse figuras 4.14 – 4.15).



Figuras 4.14 - 4.15: Diagramas Su-Field con una interacción con a) efecto insuficiente y b) efecto excesivo provocado por lapso hacía el proceso.

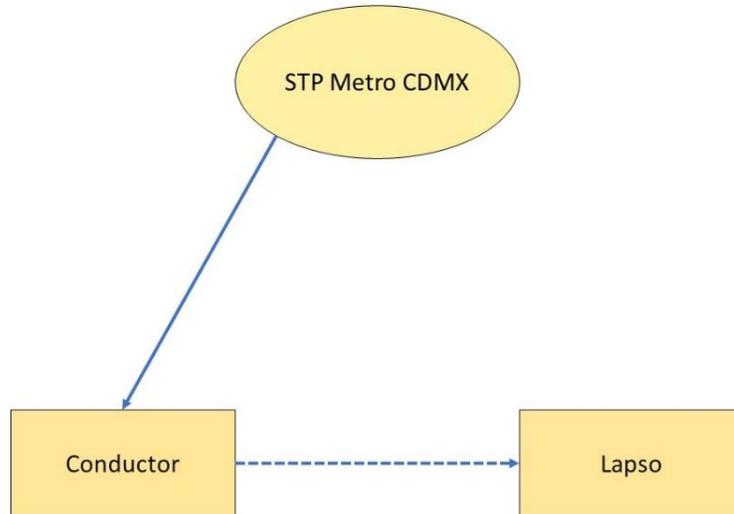
| Solución No. (véase tabla 4.8) | Modelo que mejoraría | Descripción | Efectividad |
|--------------------------------|--------------------------|---|---|
| 4.1) | Incompleto | Las rutas express se detendrían únicamente en estaciones seleccionadas, agilizando el proceso al atender a un número limitado de usuarios. | Baja: Si no se construyen pasos para que los trenes puedan cambiar de vía en las estaciones, se generará la necesidad de que los trenes de las rutas no express esperen a que se despeje el camino. |
| 4.2) | Completo pero inefectivo | Cada tren tendría una cantidad variable de vagones, lo que permitiría a los pasajeros abordar más rápidamente los trenes con mayor capacidad. | Media: Los trenes con menos vagones experimentarían un intervalo de tiempo mayor entre ellos. |
| 4.3) | | Se establecerían lapsos específicos para cada estación, adaptados mediante un sistema computarizado que utiliza muestras y estadísticas para | Alta: Mediante una adecuada programación de tiempos en cada estación, es factible elevar el rendimiento del sistema ferroviario. |

| | | | |
|-------------|--------------------------|--|--|
| | | calcular con precisión el tiempo requerido para cada proceso. | |
| 4.4) | Incompleto | A través de un sistema computarizado y mediante el análisis estadístico, se determinaría el tiempo óptimo de manera sofisticada. | Alta: Se lograría una optimización de los intervalos de tiempo. |
| 4.5) | | Se registraría la cantidad de personas que desean acceder al andén para gestionar su ingreso al tren de manera consecuyente. | Media: Los ajustes de tiempo solo se realizarían en función de los pasajeros que desean abordar el tren, excluyendo a aquellos que desean descender. |
| 4.6) | Completo pero inefectivo | Se ampliaría el tiempo de manera deliberada para asegurar que el proceso sea suficientemente abarcado. | Baja: El resultado no alcanzaría niveles de eficiencia temporal óptimos. |

Tabla 4.15: Análisis Su-Field de la contradicción 4. Elaboración Propia.

F. 5ta contradicción.

Finalmente, la quinta contradicción aborda el tema del lapso para el cierre de puertas en las estaciones. En este caso, es el conductor del tren quien tiene la responsabilidad de seleccionar el momento adecuado para cerrar las puertas, basándose principalmente en su propia percepción visual o tomando una decisión voluntaria. Sin embargo, esta elección individual puede llevar a interrupciones en el proceso, ya que los usuarios pueden sentirse apresurados a entrar o salir del tren, lo que aumenta el riesgo de accidentes o incidentes inesperados (véase figura 4.16 y tabla 4.16).



Figuras 4.16: Diagrama Su-Field con una interacción con efecto insuficiente provocado por el conductor hacia el lapso.

| Solución No. (véase tabla 4.9) | Modelo que mejoraría | Descripción | Efectividad |
|--------------------------------|--------------------------|---|---|
| 5.1) | Incompleto | El sistema de vigilancia posibilitaría la observación continua del flujo y la verificación precisa de su momento culminante. | Media: Existe la posibilidad de que surja un error humano si el sistema es manipulado por personas en el poder. |
| 5.2) | | El autómata identificaría el fin del flujo a través de sensores. | Alta: Si la manipulación proviene de un sistema de IA. |
| 5.3) | Completo pero inefectivo | Al asignar vagones exclusivos a personas con diversas capacidades, se verificaría el acceso al tren, considerando la posibilidad de que requieran más tiempo. | Baja: En el caso de que alguien obstruya el sensor, el sistema se quedará sin visión. |
| 5.4) | Incompleto | Los botones serían activados en situaciones de emergencia, en caso de que una persona o un grupo así lo necesite. | Media: A pesar de que el conductor mantendría el control del proceso, su supervisión podría ser realizada por un único grupo de personas. |

| | | | |
|------|--------------------------|---|---|
| 5.5) | Completo pero inefectivo | Se solicitaría a los usuarios que limiten la cantidad de personas ingresando al tren en un determinado momento. | Media: Aunque el conductor conservaría el control del sistema, este podría recibir retroalimentación de otros en caso de necesidad, lo que plantea la preocupación de un posible uso malicioso. |
| 5.6) | | Se llevaría un registro de las personas que desean acceder al andén y, de manera consecutiva, abordar el tren. | Baja: Es posible que muchas personas no cumplan con estas instrucciones. |
| 5.7) | Incompleto | Los guardias supervisarían un flujo unidireccional, primero de salida y luego de entrada, con retroalimentación hacia el conductor. | Alta: Si se pudiera determinar el número exacto de pasajeros de alguna manera, sería más viable gestionar el acceso de nuevos usuarios. |
| 5.8) | Completo pero inefectivo | Gracias a un profundo conocimiento del proceso y sus eficiencias, el conductor estaría mejor preparado para tomar decisiones acertadas. | Baja: Cuando el andén y el convoy están abarrotados de pasajeros, los guardias podrían perder el control sobre la multitud. |

Tabla 4.16: Análisis Su-Field de la contradicción 5. Elaboración Propia.

La evaluación efectiva de las soluciones es esencial para garantizar que las propuestas no solo sean creativas, sino también factibles, viables y alineadas con los objetivos del problema en cuestión. Para lograr esto, se deben establecer criterios de evaluación claros y relevantes que consideren aspectos que permitan alcanzar el IFR o acercarlo lo máximo posible.

Por otro lado, una solución universal para la innovación del proceso implica considerar diversas alternativas presentadas en tablas que proponen soluciones comunes. Un ejemplo es el caso de Barcelona, que resulta fácil de implementar en estaciones recién construidas, pero complicado en reconstrucciones. Otra opción es establecer un sistema de paso mediante puertas y bardas en el andén, permitiendo un flujo despejado para quienes salen del vagón y restringiendo el acceso a los pasajeros que ingresan. Es importante mencionar esto, ya que, a continuación, se construirá una solución única que puede partir de este punto.

Con este enfoque, para que una solución puede mejorar varias contradicciones, debe estar presente conscientemente, pues ofrece una solución universal. Así, se requiere añadir o cambiar componentes o sistemas por completo y realizar solo una modificación única.

5. Análisis de Resultados.

En esta sección, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los resultados derivados del proceso creativo e innovador de TRIZ. El propósito principal radica en establecer las bases para la creación de la solución definitiva, haciendo uso de la información recopilada durante la metodología empleada en este estudio. Se hace hincapié en la aplicación de técnicas como lluvias de ideas y el análisis sustancia – campo. Los elementos en consideración engloban tanto las soluciones individuales como sus respectivas ventajas y desventajas. Además, se realizó una evaluación de la eficacia de su implementación y se presenta un análisis externo que se describe en detalle más adelante.

A partir de esto, es posible comprender la relevancia, el valor y los obstáculos asumidos por la novedosa propuesta de solución. Es esencial destacar que esta tiene su origen en la metodología TRIZ, lo que motiva a realizar un análisis adicional o complementario. Dicho análisis busca resaltar la importancia de una planificación precisa, fundamental para lograr una innovación integral y eficaz en entornos complejos. Esto es aplicable tanto al contexto del STC Metro como a la resolución de problemáticas diversas de forma holística.

5.1. Construcción de la solución única.

Para elegir la mejor solución en TRIZ, se enfoca en el IFR una técnica que persigue la visión más ambiciosa y deseable para resolver un problema, lo cual fue realizado en análisis de idealidad. Una vez que el IFR se ha definido claramente, se compara con la situación actual y las soluciones propuestas. La solución que se asemeje más al IFR será considerada la más adecuada. Esto se logra mediante un análisis exhaustivo de las soluciones propuestas en términos de eficiencia, simplicidad, costo, impacto ambiental y viabilidad técnica.

Aquellas soluciones que se acerquen más al IFR y presenten ventajas significativas en múltiples aspectos serán preferidas. Además, se evaluarán los posibles efectos secundarios o consecuencias indeseables de cada solución para tomar decisiones informadas. La elección de la mejor solución se basa en un enfoque sistemático y objetivo que busca maximizar los beneficios y minimizar las limitaciones, buscando un equilibrio óptimo para alcanzar el IFR. Así, TRIZ proporciona una poderosa herramienta para la innovación al priorizar soluciones que se alineen con una visión ideal de resolución del problema.

5.1.1. Descripción de la solución.

En primera instancia, se han identificado diversas soluciones para abordar y mejorar el efecto dañino del proceso, teniendo en cuenta las desventajas que conllevaban. Entre las alternativas más destacadas se encuentran la reconstrucción de la estación en configuración Barcelona, la implementación del sistema de restricción para los usuarios y el aumento de la longitud de las puertas de los trenes. Al analizar detenidamente la tabla de resultados, se aprecia que la opción de reconstrucción no presenta problemas de seguridad, o por lo menos no si se conserva la fiabilidad del sistema, y, al mismo tiempo, ofrece una eficacia óptima al proceso.

Las estaciones configuradas según el modelo Barcelona presentan una disposición que facilita las descargas de pasajeros hacia el andén central, mientras que el ascenso se efectúa desde los andenes externos. Esta particular distribución evita obstrucciones entre los usuarios que entran y salen, garantizando la integridad de la seguridad. Además, gracias a esta configuración, el flujo de entrada y salida de los vagones se realiza de manera ágil y rápida, aunque ligeramente más tardada que en la disposición tradicional e isla. Sin embargo, la eficacia del proceso continúa siendo óptima.

Considerando todas estas ventajas y beneficios, se concluye que la solución principal y más innovadora para abordar el problema es la opción de la estación configurada según el modelo Barcelona. Dicha elección se fundamenta en su capacidad para mantener la seguridad en todo momento y, al mismo tiempo, lograr una eficacia en el flujo de pasajeros que resulta altamente beneficiosa para el proceso en cuestión.

Siguiendo con la descripción de la propuesta general, se contemplan diversas soluciones que añadirían valor y que provienen de las distintas lluvias de ideas surgidas a partir de cada contradicción planteada:

- Se fomentaría y se instaría a los usuarios a evitar permanecer en los andenes laterales si no tienen intención inmediata de abordar el tren. Además, se pediría a los pasajeros que hayan bajado del tren que abandonen el andén central de manera rápida y ordenada para mantener el área despejada y facilitar la evacuación. Si desean esperar, se les invitará a hacerlo en otras zonas de la estación. En algunas estaciones, hay pantallas con un canal de televisión en transmisión; estas pantallas serían retiradas y colocadas en los nuevos sitios de espera, si es necesario.

- Se procedería a una reorganización interna de los trenes en toda la red. Los asientos se reducirían a cinco por espacio inferior de ventana, dejando un espacio específico para personas que se desplazan en silla de ruedas en las esquinas de los vagones. Estos asientos estarían destinados preferentemente a personas con discapacidad o movilidad reducida, mujeres embarazadas o en período de lactancia, personas con niños pequeños en brazos y adultos mayores.
- Se contaría con la colaboración de guardias y policías en las estaciones para asistir a las personas mencionadas anteriormente, asegurando que puedan obtener un asiento dentro del tren si así lo necesitan o desean. Además, se instaría a los pasajeros que estén sentados a ceder su lugar a aquellos que lo requieran.
- Se establecería un sistema de comunicación efectivo entre los guardias y el conductor del tren para coordinar el momento adecuado de apertura y cierre de las puertas. Esto se lograría gracias a la observación de un mayor número de personas que asumirían la responsabilidad del proceso.
- Se instalaría una red de puertas automáticas sobre los andenes laterales de estaciones compactas o de área reducida, que operen su apertura al comienzo del proceso de transición de pasajeros, y su clausura posterior al cierre de puertas del tren. Estos solo serían implementados sobre los andenes que mantengan a los usuarios que deseen entrar al convoy. Con esto, se elimina el riesgo de caída de personas hacia las vías.
- Se llevaría a cabo la implementación del pasillo diáfano en todos los trenes de la red, garantizando así un espacio despejado y fluido para el desplazamiento de los pasajeros dentro del convoy.

En conjunto, estas soluciones pretenden mejorar significativamente la experiencia de los usuarios del sistema de transporte, optimizando la fluidez, la seguridad y el bienestar durante sus desplazamientos en tren.

A. Estaciones preferentes.

Una manera de identificar las estaciones con un mayor flujo de pasajeros tanto en el ascenso como en el descenso de los trenes es a través de los siguientes puntos:

- **Estaciones terminales de línea y/o de correspondencia:** Las estaciones que conectan varias líneas de metro o sistemas de transporte público tienden a tener una mayor

afluencia debido a la transferencia de pasajeros entre diferentes rutas. Estas estaciones actúan como puntos de intercambio y pueden presentar una mayor afluencia de pasajeros tanto en la entrada como en la salida.

- **Ubicación estratégica:** Las estaciones ubicadas en áreas céntricas, comerciales o de alta densidad poblacional suelen atraer una mayor cantidad de pasajeros. Estas áreas son más propensas a tener una afluencia constante de personas que ingresan y salen de los trenes del metro.

Esto es mencionado debido a que las estaciones fueron construidas con el propósito de obtener usuarios que encuentren cercano su hogar, su escuela, su trabajo o una plaza de recreación cercana a la estación en sí, por lo tanto, para arribar a dicho punto

Comentado esto, es posible implementar la a solución completa (con la reconstrucción en configuración Barcelona), de manera preferencial, en el siguiente conjunto de estaciones:

- Línea 1: Tacubaya – Balderas – Salto del Agua – Pino Suarez – Zaragoza.
- Línea 2: Hidalgo – Bellas Artes – Zócalo / Tenochtitlan – Pino Suarez – Ermita.
- Línea 3: La Raza – Guerrero – Hidalgo – Balderas – Centro Médico – Zapata.
- Línea 5: Oceanía
- Línea 7: Tacubaya.
- Línea 8: Atlalilco.
- Línea 9: Centro Médico – Jamaica.
- Línea A: Santa Martha.
- Línea B: Guerrero – Garibaldi / Lagunilla – San Lázaro – Oceanía.
- Línea 12: Zapata – Ermita – Atlalilco.

Las estaciones de Mixcoac, Deportivo 18 de Marzo, Instituto del Petróleo, Morelos, Santa Anita y Consulado no fueron mencionadas debido a diferentes razones. En el caso de las primeras tres estaciones, están en proximidad a una terminal que ya concentra a muchas personas. Además, es común que aquellos que abordan en esa terminal no hagan parada en la siguiente estación mencionada. Esto constituiría una excepción en el caso de las estaciones Guerrero y Garibaldi/Lagunilla, que pertenecen a la línea B. Esta excepción se debe a que un número significativo de usuarios que ingresan a la red en la estación Buenavista buscan realizar trasbordos hacia ciertas estaciones de las líneas 3 y 8. Esto se debe a la alta concentración de residentes de

la Ciudad de México que se dirigen al centro de la ciudad, que se obtiene de las mismas ubicaciones estratégicas de cada estación. Asimismo, se observa una situación similar en la estación Bellas Artes, que conecta con la terminal Garibaldi/Lagunilla de la línea 8, y en la estación Tacuba, que conecta con Observatorio en la línea 1.

En cuanto a las últimas cuatro estaciones, están relacionadas con las líneas menos utilizadas. Las líneas 4 y 6 no tendrían cambios en su configuración debido a que la afluencia dentro de sus estaciones es la más baja de la red, imperceptible para desarrollar un flujo tan denso y volátil como se desarrolla en las demás. Estas estaciones no solo registran una menor cantidad de pasajeros en tránsito, sino que también presentan una menor afluencia de usuarios que ingresan a la red.

Aunque las estaciones de Santa Martha y Zaragoza no se conectan directamente con otras líneas de servicio, cuentan con las conocidas *CETRAM* (Centros de Transferencia Modal) en sus alrededores. Estos centros ofrecen opciones de transporte suburbano, permitiendo llegar a áreas o lugares del área metropolitana que no son fácilmente accesibles mediante el uso del metro, que es un sistema de transporte masivo. Debido a esto, estas estaciones se convierten en importantes puntos de concentración de personas y experimentan flujos significativos de entrada y salida de pasajeros.

En caso de que se desee gestionar una versión demostrativa de la solución con el propósito de analizar el comportamiento y la interacción de los usuarios con dicha solución, así como generar una versión preliminar, se sugiere utilizar las estaciones Hidalgo, Balderas y Pino Suárez, en ambas de sus líneas de conexión, como los puntos idóneos para llevar a cabo esta fase inicial de implementación.

Además, es importante mencionar que, aunque las terminales permanentes no generan problemas de contraflujo de pasajeros, la solución general podría ser implementada, con la excepción de la configuración Barcelona. En este sentido, terminales como Pantitlán (en las líneas 1, 5 y 9), Cuatro Caminos, Indios Verdes, El Rosario (líneas 6 y 7), Constitución de 1917, Ciudad Azteca y próximamente Martín Carrera, también serían consideradas puntos de concentración. Por lo tanto, se requiere que la entrada y salida de pasajeros se realice de manera rápida y segura, facilitando así un cambio de ruta más eficiente para los trenes.

5.1.2. Implementación de la solución en terminales.

Cabe mencionar que, en la actualidad, algunas estaciones se consideran terminales debido a su carácter temporal y la falta de un plan específico para modificar su configuración. Sin embargo, se destaca que tanto la estación Taxqueña en la línea 2 como la estación Observatorio en la línea 12 están en fase de planeación y construcción, respectivamente, con el objetivo de convertirse en terminales permanentes. Sin embargo, existe la posibilidad de transformar otras estaciones en terminales de línea mediante ajustes en su configuración.

A. Estaciones preferentes.

Para aquellas estaciones que actualmente no cuentan con la estructura adecuada, se sugiere llevar a cabo tanto modificaciones en su configuración como la implementación de una lista de soluciones como parte de las acciones a considerar. Asimismo, incorporar una lista de soluciones proporcionaría opciones adicionales para abordar diversos desafíos y problemas que puedan surgir en el proceso de transformar las estaciones en terminales de línea.

- Línea 1: Observatorio.
- Línea 2: Taxqueña.
- Línea 7: Barranca del Muerto.
- Línea 8: Garibaldi / Lagunilla.
- Línea 9: Tacubaya.
- Línea A: Pantitlán – La Paz.
- Línea B: Buenavista.
- Línea 12: Observatorio (Actualmente en construcción).

Tras analizar las diversas soluciones propuestas para abordar el problema de flujo de pasajeros en el sistema de transporte, se destaca que la opción más innovadora y efectiva es la implementación del modelo Barcelona en las estaciones. Este enfoque permitiría mantener la seguridad en todo momento y mejorar la eficacia del flujo de pasajeros, lo cual beneficiaría significativamente al proceso.

Además, se proponen otras soluciones complementarias, como reorganizar los trenes, contar con la colaboración de guardias y policías para asistir a pasajeros con necesidades especiales, establecer un sistema de comunicación efectivo y la implementación de pasillos

diáfanos en los trenes para optimizar la experiencia del usuario. Aunque algunas estaciones ya son consideradas terminales y podrían no requerir la configuración Barcelona, se reconoce la posibilidad de transformar otras estaciones en terminales de línea mediante ajustes en su configuración para garantizar una entrada y salida rápida y segura de pasajeros, facilitando así un cambio de ruta más eficiente para los trenes en general.

Se puede señalar que algunas de las soluciones propuestas aquí están alineadas con el *Plan Maestro del Metro 2018-2030* (2018). Este plan aboga por la mejora del servicio, incluyendo la implementación de pasillos diáfanos y la reconfiguración de estaciones, con el objetivo de optimizar el proceso de transbordo en lugares como Taxqueña. (Colectivo, 2018)

5.2. Análisis Complementario.

Cada una de las propuestas destinadas a abordar la solución en su conjunto aporta ventajas adicionales en comparación con el estado actual. Esto posibilita la integración de un sistema más cohesivo, completo y avanzado, lo que conlleva a que la solución se aproxime más al IFR en comparación con lo que el sistema actual ha logrado hasta el momento.

No obstante, es crucial destacar que alcanzar un sistema completamente perfecto sigue siendo una meta inalcanzable, además, es importante tener presente que la innovación permanece en incógnita hasta que la solución se materializa. Esta incertidumbre deriva de la necesidad de observar y evaluar las reacciones tanto de los usuarios como de los responsables de la implementación frente a este nuevo proceso. Según el autor Luigi Valdes Buratti en su libro, *Innovación: el arte de inventar el futuro*, la innovación solo puede ser confirmada una vez que se constata su eficacia tras la implementación exitosa; de lo contrario, se considera que la innovación no ha sido alcanzada; aunque él mismo lo menciona desde una perspectiva mercadológica al referirse a la innovación de un producto.

La innovación es un proceso sistemático para mejorar un producto, servicio o el modelo de negocios de una empresa para que sea percibido favorablemente por el cliente. (...) Cuando se presenta un nuevo producto en el mercado y es aceptado, el impulso creador tuvo sentido. (Buratti, 2004)

Es importante tener en cuenta que todavía persisten desafíos debido a la aplicación generalizada de la solución propuesta por TRIZ. Esta situación surge porque varios detalles no son resaltados adecuadamente, y aunque la metodología tiene la capacidad de resolverlos, su aplicación en un sistema compuesto por numerosos elementos de gran complejidad dificulta la creación de un sistema exhaustivamente detallado.

A continuación, se procederá a un análisis detallado de cada punto en la solución propuesta con el fin de identificar y examinar las situaciones o características que obstaculizan el alcance del IFR.

5.2.1. Costo e inversión.

En principio, como se había mencionado previamente, se debe tener en cuenta que los costos de implementación de los nuevos elementos en esta solución son significativos. Además, es necesario considerar la reconstrucción de las estaciones ya existentes y la adquisición de una flota de trenes completamente nueva, lo que implica una inversión considerable. Esto es especialmente relevante dado que la intención es mejorar todas las líneas del sistema, incluyendo aquellas estaciones con un gran número de usuarios que requieren cambiar a otras líneas o sistemas de transporte diferentes.

Cabe destacar que no se trata únicamente de algunas estaciones específicas, sino de aquellas que son puntos clave para los viajeros que desean hacer transiciones entre diferentes líneas o incluso cambiar a otros medios de transporte. Esta perspectiva amplia agrega complejidad a la inversión, ya que se debe comprender las diversas necesidades de diferentes tipos de viajeros y adaptar las estaciones en consecuencia para garantizar su uso efectivo por parte de todos.

5.2.2. Capacitaciones.

Una vez finalizado el proyecto de reconstrucción, resulta fundamental llevar a cabo capacitaciones dirigidas al personal encargado de supervisar los flujos de entrada y salida. Aunque el conductor podría participar en estas observaciones, es importante señalar que su rol se limita a activar el cierre de las puertas y a decidir discrecionalmente si dicho cierre se ejecuta de inmediato o no.

Es esencial que estos individuos tengan una comprensión clara de que su labor está fundamentada en una responsabilidad civil. Al cumplir con esta responsabilidad, no solo se evitarían posibles contratiempos, sino que también se brindaría asistencia a quienes necesiten

ayuda para abordar y desembarcar del tren. Hay que destacar esta idea debido a que es muy importante para evitar cualquier despiste sobre lo crucial de su labor. Por lo tanto, el reconocimiento y la conciencia de la relevancia de su tarea son aspectos ineludibles que no deben pasarse por alto.

Tendría que reconocerse si la labor que desempeñan exhibe un valor agregado sustancial que pudiera resultar en un incremento salarial justo y adecuado. Además, convendría evaluar la conveniencia de dotar a los profesionales con herramientas complementarias que potencien la ejecución de sus tareas de manera más eficiente y cohesiva, asegurando así un despliegue óptimo de sus habilidades laborales.

5.2.3. Sistema de comunicación.

Dentro del ámbito del sistema de comunicación, resulta necesario llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las diversas propuestas disponibles. Esta evaluación debe considerar no solo las ofertas en sí, sino también el respaldo tecnológico que las acompaña, esencialmente en la relación entre los costos y los beneficios que cada opción conlleva.

En este contexto, es crucial determinar qué tan idónea es la herramienta. Aparatos como teléfonos, radiotransmisores o intercomunicadores son ejemplos de sistemas que pueden perfectamente ser utilizados como integrantes tecnológicos de la solución. La elección debe orientarse hacia aquella que permita a los oficiales cumplir con sus responsabilidades de manera más eficaz. Esta elección no solo se trata de mejorar la eficiencia en la coordinación de los flujos de pasajeros, sino también de garantizar la seguridad en dicho proceso.

Asimismo, es importante abordar la cuestión de los costos asociados a la adquisición de estos dispositivos. Buscar formas de minimizar los gastos en la compra de dichos equipos es una consideración prudente. Esto podría lograrse a través de la búsqueda de ofertas más favorables en el mercado o de la selección de opciones que, aunque puedan tener un costo inicial más alto, demuestren ser más rentables a largo plazo debido a su durabilidad y funcionalidad mejorada, así como también para la actividad que desarrollaría el personal a cargo.

5.2.4. Botones de accesibilidad.

La instalación de un sistema de botones emerge como una necesidad primordial para facilitar el abordaje y desembarque del tren por parte de usuarios con diversas capacidades. Esta iniciativa busca proporcionar un mayor grado de comodidad y un margen de tiempo adecuado,

tanto para aquellos que suben como para los que descienden del tren. Es esencial establecer una comunicación fluida con el conductor, informándole cuándo es pertinente prolongar el tiempo de espera.

Además de los costos iniciales, las puertas que se encuentren sobre los andenes también conllevan gastos continuos debido a la necesidad de un mantenimiento constante, que se debe a su composición mecánica y a la presencia de actuadores.

Los botones, ubicados de forma minuciosa en lugares estratégicos de los andenes y dentro de los vagones, constituyen el corazón de este sistema añadido. Su disposición debe ser concebida de tal forma que las personas que requieren asistencia puedan accionarlos sin dificultad alguna. En situaciones en las que el apoyo de un oficial sea factible, este profesional puede presionar el botón en nombre de la persona. Sin embargo, se debe contemplar la eventualidad de que ciertos individuos no puedan contar con esta ayuda. Por tanto, se propone incorporar una vía con relieve para personas con discapacidad visual que les permita accionar los botones de manera independiente. Adicionalmente, cada botón dispondrá de una inscripción en braille, asegurando así la accesibilidad universal del sistema.

En consecuencia, el diseño de esta solución adquiere una importancia capital. El diseño no solo debe enfocarse en la funcionalidad y la facilidad de uso, sino también en la inclusión de todas las personas sin importar sus capacidades. La implementación de este sistema de botones no solo mejorará la experiencia de los usuarios con necesidades especiales, sino que también contribuirá a la creación de un entorno de transporte público más equitativo y accesible para todos.

Una situación similar puede ser observada en las estaciones pertenecientes al sistema de Metrobús. En estas estaciones, se pueden apreciar botones estratégicamente ubicados a un costado de los vanos correspondientes, coincidiendo con la zona donde se designa un espacio exclusivo para el acceso de mujeres al autobús. Estos botones operan de manera análoga al mecanismo empleado en el sistema del metro para solicitar la apertura de puertas. No obstante, se distingue en que existen múltiples botones dispuestos tanto en el andén como en los vagones del convoy. El propósito de estos dispositivos es idéntico al descrito en la solución previamente mencionada, buscando garantizar un entorno seguro y cómodo para los pasajeros.

5.2.5. Adquisición y compra de trenes reconfigurados.

Por otra parte, al considerar la disposición de pasillos amplios en los vagones, se posibilita un mayor grado de movimiento y una expansión del espacio disponible para los pasajeros dentro del tren. También se incluye la incorporación de áreas destinadas a usuarios que utilicen silla de ruedas, lo cual refleja un compromiso con la accesibilidad. Además, se lleva a cabo una reestructuración significativa en la disposición y cantidad de asientos. Esta configuración no solo favorece la comodidad de los viajeros, sino que también optimiza la capacidad de transporte al permitir el acceso fluido a un mayor número de pasajeros y asegurar un constante flujo de movimiento hacia la salida del tren. En este sentido, se crea un entorno más eficiente y cómodo para todos los usuarios del sistema.

No obstante, la asignación de una inversión considerable para la adquisición de nuevos trenes que incorporen esta configuración específica plantea una serie de desafíos. Estos van desde el mantenimiento continuo, que puede resultar costoso debido a los componentes de vanguardia tecnológica que los conforman, hasta su integración en la red sin una planificación exhaustiva. Además, surgen otras problemáticas durante la fase de implementación que podrían generar obstáculos significativos. Estos posibles inconvenientes podrían incluso llevar a que aquellos responsables de autorizar la puesta en marcha de la solución desarrollada mediante la metodología TRIZ reconsideren la solución y reflexionen si realmente se cumple la razón costo – beneficio es adecuada.

En resumen, se requiere invertir significativamente en la implementación de nuevos elementos en la solución de transporte, incluyendo la reconstrucción de estaciones existentes y la adquisición de una flota de trenes nueva. Esto es crucial para mejorar todas las líneas, especialmente las estaciones clave de transición. Se debe capacitar al personal para supervisar flujos de pasajeros y garantizar su seguridad. La comunicación tecnológica debe evaluarse en términos de costos y beneficios. Los botones en estaciones y trenes mejorarán la accesibilidad. Aunque hay desafíos en la inversión y la implementación de nuevos trenes, se busca optimizar la comodidad y eficiencia para todos los usuarios.

5.2.6. Aplicación de TRIZ a problemas complejos.

A partir de esto, se infiere que enfrentar la resolución de problemas mediante TRIZ en situaciones altamente complejas demanda un enfoque más exhaustivo y una aplicación de la

metodología de manera iterativa. No obstante, la solución propuesta por esta metodología tiende a ser genérica para la problemática en cuestión. Esto se debe a que, desde la concepción del IFR, la solución se basa únicamente en alcanzar este punto de innovación. Con esto, se aclara que el IFR se encuentra sesgado o insuficientemente detallado.

En realidad, ciertos aspectos de la solución carecen de detalles y podrían generar contradicciones adicionales que necesitarían ser abordadas de manera independiente. Esta dinámica no se limita al ámbito de la planificación, sino que también abarca campos como el urbanismo, la psicología, las finanzas y diversas especificaciones técnicas.

Este nivel de generalización en la aplicación de TRIZ permite abordar problemas extensos, pero a expensas de no lograr una focalización precisa en situaciones individuales, que se observa como necesaria para abordar la mayor cantidad de problemas y lograr la innovación de manera más detallada y precisa.

Conclusión.

El objetivo de este trabajo consistió en la aplicación de la metodología TRIZ para promover la creación de soluciones innovadoras y avanzadas destinadas al abordar uno de los problemas más comunes en la red del STC Metro. El problema por resolver se relacionó con la falta de seguridad y la ineficiencia asociada al proceso de embarque y desembarque de los vagones de tren. Esta iniciativa buscó demostrar la viabilidad de aplicar enfoques inventivos en contextos no exclusivamente técnicos, ya que TRIZ se centra, desde su concepción, en la resolución de problemas de ámbito técnico y tecnológico.

La metodología TRIZ ofrece una alternativa para la obtención de ideas creativas con un procedimiento más organizado, de forma que resulte efectiva en su enfoque de lograr la innovación en sistemas que aún presenten interacciones entre sus componentes que no logren la efectividad requerida o deseada. Para lograrlo, se emplearon distintas obras literarias y la herramienta informática de *CREAX*. A través de este enfoque, se trazó una ruta destinada a facilitar y agilizar la generación de ideas creativas. La adaptación del método ARIZ de *CREAX* desempeñó un papel fundamental en la ejecución del proceso creativo.

Las diversas herramientas incluidas en el conjunto de recursos de TRIZ resultan altamente provechosas para lograr soluciones singulares, con el propósito de elevar la calidad de los sistemas y su operatividad. No obstante, al emplearlas en un contexto no técnico y llevar a cabo el proceso de definición de contradicciones en lugares donde sea necesario obtener los parámetros de cambio, existe la posibilidad de establecer ciertos parámetros que, aunque no sean incorrectos, podrían presentar algún sesgo creativo. Esto podría conllevar a la generación de ideas que no satisfagan completamente la solución deseada, alejándola del IFR definido con anterioridad.

Cabe mencionar también que, aunque los resultados pueden llevarse a cabo e implementarse en las estaciones de la red mencionadas previamente en la sección "Construcción de la solución única", podrían generar una mejora en el proceso de intercambio de pasajeros, logrando una solución cercana a IFR. No obstante, surgen otros problemas y obstáculos que no se mencionaron inicialmente en el análisis de la idealidad, lo cual llevaría a no lograr la innovación, debido a que no se adoptarían posiciones favorables para los involucrados en desarrollar físicamente la solución, así como tampoco para los involucrados en el proceso, es decir, los usuarios de la red.

Estas complicaciones incluyen el alto costo de la reconstrucción, la capacitación y la inversión necesaria para llevar a cabo la solución en su totalidad. Además, existe la preocupación por el impacto en el servicio durante el tiempo en que la estación no esté operativa. Es posible que la línea en su conjunto se vea afectada debido a que los trenes podrían no circular por el tramo de la estación que está en proceso de reconstrucción. Durante este período, se espera que la afluencia sea caótica, similar a la situación actual con la renovación del tramo de Pantitlán a Balderas en la línea 1 del servicio, donde el servicio ya cuenta con una interrupción de más de un año.

La metodología no procesa la creatividad siguiendo las reglas del método científico, adoptando más, en cambio, una perspectiva filosófica, tal como se puede apreciar en la referencia a *TRIZ Arte*. Su aplicación debe ser de naturaleza profesional, encaminada a generar propuestas genuinamente operativas y funcionales.

A pesar de que el propósito fundamental de este proyecto consistía en hallar una solución para la ineficacia en el proceso de intercambio de pasajeros en los trenes del metro, se presenta un objetivo implícito de mayor relevancia. Dicho objetivo se centra en asegurar la adopción de TRIZ se presenta como una opción para solucionar problemas específicos en el entorno del STC metro. En este enfoque, se da prioridad a la seguridad de los usuarios y el personal, con el objetivo de mejorar el servicio y reducir los accidentes. Esta manera de ver las cosas refuerza la importancia de la metodología utilizada y también promueve un sentido más profundo de propósito hacia los objetivos de los proyectos que puedan surgir, para mejorar los sistemas en la red y sus instalaciones.

Así, TRIZ resulta útil en diversos proyectos, incluso en áreas poco exploradas, al proporcionar ideas innovadoras para resolver problemas en sistemas que aún no han evolucionado lo suficiente para ser destacados.

Además, se cuenta con el informe del proyecto en *CREAX*, el cual resalta los aspectos clave de la aplicación de TRIZ para generar ideas creativas. Este documento presenta de manera más simple y concisa las herramientas empleadas y el proceso creativo. Así, el programa se convirtió en un punto crucial para desarrollar ideas innovadoras que aportaran un valor añadido al sistema bajo evaluación.

Referencias.

- Aguayo, H. (s.f). *Tabla de Contradicciones Técnicas de Altshuller. Anexo 2.* Tecnológico de Monterrey.
- Anónimo. (4 de Mayo de 2021). Estos son los accidentes más graves del Metro de la CDMX. *El Financiero Bloomberg.*
- Antaki, J. F. (2016). Resources. En J. F. Antaki, *Inventive Problem Solving in Biomedical Engineering.* Pittsburg, Pensilvania.
- Arte, T. (2023). *TRIZ Arte.* Obtenido de <https://www.trizarte.com/about-triz/>
- Buratti, L. V. (2004). *Innovación: el arte de inventar el futuro.* CONCAMIN.
- CDMX, G. (1969). *STC Metro.* Obtenido de <https://www.metro.cdmx.gob.mx/>
- CDMX, S. M. (2023). *Cronología del Metro.* Obtenido de STC Metro CDMX: <https://www.metro.cdmx.gob.mx/cronologia-del-metro>
- Colectivo, S. d. (2018). *Plan Maestro Del Metro 2018 – 2030.* Obtenido de Sistema de Transporte Colectivo:
https://metro.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Metro%20Acerca%20de/Mas%20informacion/planmaestro18_30.pdf
- Copi, I. M., & Cohen, C. (2014). *Introducción a la Lógica.* Pearson Educación.
- Coppel, E. (11 de Abril de 2018). Las filas ordenadas en 14 estaciones del Metro son obra de un proyecto de la UNAM. *Verne (El País).*
- CREAX. (11 de Febrero de 2005). *CREAX.* Obtenido de CREAX Innovation Suite 3.1: User Manual.
- Denault, J.-F. (s.f.). *AITRIZ.* Obtenido de Case Study: Applying Triz In A Non-Technical Setting For A Fuel-Cell Start-Up: <https://www.aitriz.org/triz-articles/triz-features/627-non-tech-triz>
- Lady, D. (2012). Information Technology System Cookbook: Introducing TrizIT: TRIZ for Information Technology. En D. Lady, *Information Technology System Cookbook: Introducing TrizIT: TRIZ for Information Technology.* CreateSpace Independent Publishing Platform.

- Neumann, E. B. (s.f.). Mosaico de la iconografía del Sistema de Transporte Colectivo Metro Ciudad de México. *Arquitectura y cine: iconografía del Metro de la Ciudad de México*. Ciudad de México.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity : (introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Florida, EUA: CRC Press LLC.
- SolidCreativity. (2023). *TRIZ40*. Obtenido de TRIZ 40: www.triz40.com
- Terninko, J., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ*. New York, EUA: CRC Press.
- Web, C. 2. (18 de Octubre de 2021). Colapso en Línea 12 del Metro fue originado por errores en construcción: Fiscalía CDMX. *Capital 21 CDMX*.
- Web, C. 2. (7 de Enero de 2023). METRO CDMX; Choque en Línea 3 del Metro, así ocurrió; Sheinbaum ofrece informe. *Capital 21 CDMX*.
- Zusman, B. Z., Kaplan, L., Visnepolschi, S., Proseanic, V., & Malkin, S. (2000). *TRIZ Beyond Technology: The Theory and Practice of Applying TRIZ to Non-Technical Areas*. Detroit, EUA: Ideation International Inc.

Bibliografía.

- CREAX. (11 de Febrero de 2005). *CREAX Innovation Suite 3.1: User Manual*. Obtenido de CREAX.
- Denault, J.-F. (s.f.). *Applying Triz In A Non-Technical Setting For A Fuel-Cell Start-Up*. Obtenido de AITRIZ: <https://www.aitriz.org/triz-articles/triz-features/627-non-tech-triz>
- Gobierno CDMX (1969). *STC Metro*. Obtenido de <https://www.metro.cdmx.gob.mx/>
- Lady, D. (2012). *Information Technology System Cookbook: Introducing TrizIT: TRIZ for Information Technology*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Metrobús (Accesibilidad)*. (Diciembre de 2012). Obtenido de http://data.metrobus.cdmx.gob.mx/docs/Accesibilidad_2014-ok.pdf
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Florida, EUA: CRC Press LLC.
- Terninko, J., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ*. New York, EUA: CRC Press.
- Zusman, B. Z., Kaplan, L., Visnepolschi, S., Proseanic, V., & Malkin, S. (2000). *TRIZ Beyond Technology: The Theory and Practice of Applying TRIZ to Non-Technical Areas*. Detroit, EUA: Ideation International Inc.

Anexo.

A1. Mapa de la Red del STC Metro.



Anexo A1: Mapa de la red del Sistema de Transporte Colectivo Metro, con su composición de líneas y estaciones, trazado por la misma institución. www.metro.cdmx.gob.mx

A2. Los 39 parámetros de cambio.

| No | Parámetro | Descripción |
|----|------------------------------------|---|
| 1. | Peso del objeto en movimiento | La cantidad o masa de objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 2. | Peso del objeto estacionario | La cantidad o masa de objetos que no pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 3. | Longitud del objeto en movimiento | La dimensión, longitud, altura o ancho de los objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 4. | Longitud de un objeto estacionario | La dimensión, longitud, altura o ancho de los objetos que no pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 5. | Área del objeto en movimiento | La superficie dentro de los límites definidos de los objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 6. | Área de un objeto estacionario | La superficie dentro de los límites definidos de objetos que no pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 7. | Volumen del objeto en movimiento | El espacio ocupado por objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 8. | Volumen del objeto estacionario | El espacio ocupado por objetos que no pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |

| | | |
|-----|--|---|
| 9. | Velocidad | La velocidad a la que se recorre la distancia; se completa una acción o se producen unidades. |
| 10. | Fuerza (intensidad) | La interacción (total o parcial, permanente o temporal) entre dos objetos o sistemas que pueden poner un objeto en reposo en movimiento o pueden alterar (por ejemplo, detener) el movimiento de un objeto. |
| 11. | Estrés o presión | La intensidad de las fuerzas o cantidades que actúan sobre el sistema; la fuerza de compresión por pulgada cuadrada. |
| 12. | Forma | Los contornos externos, la apariencia externa de un objeto o sistema. |
| 13. | Estabilidad de la composición del objeto | El nivel de interacción de los objetos en el sistema; integridad, integridad del sistema. Puede ser total o parcial, permanente o temporal. |
| 14. | Fuerza | La capacidad del sistema u objeto para absorber varios efectos bajo ciertas condiciones y dentro de ciertos límites sin romperse. |
| 15. | Duración de la acción de un objeto en movimiento | La duración del funcionamiento de los objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 16. | Duración de la acción de un objeto estacionario | La duración del funcionamiento de objetos que no pueden cambiar de posición por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 17. | Temperatura | El grado de calor o frialdad del objeto o sistema generalmente medido con un termómetro. |
| 18. | Intensidad de iluminación | La cantidad de luz o el grado de iluminación; otras características lumínicas del sistema. |

| | | |
|------------|--|--|
| 19. | Uso de energía por un objeto en movimiento | La cantidad de energía o recursos que gastan los objetos que pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 20. | Uso de energía por un objeto estacionario | La cantidad de energía o recursos que gastan los objetos que no pueden cambiar de posición rápida y fácilmente por sí mismos o como resultado de fuerzas externas. |
| 21. | Poder | El trabajo realizado por unidad de tiempo. |
| 22. | Pérdida de energía | La pérdida de la capacidad del sistema para realizar un trabajo ya sea total o parcialmente, de forma permanente o temporal. |
| 23. | Pérdida de sustancia. | La pérdida por parte del sistema de algunos de sus elementos constituyentes (materiales, sustancias, partes o subsistemas) total o parcialmente, permanente o temporalmente |
| 24. | Pérdida de información | Es la pérdida por parte del sistema de algunos datos o mensajes (escritos, electrónicos, visuales, orales, olfativos, etc.) en el mundo que rodea al sistema, total o parcialmente, de forma permanente o temporal. |
| 25. | Pérdida de tiempo | El aumento de tiempo (total o parcial, permanente o temporal) necesario para realizar una determinada acción (fabricación, reparación, operación, etc.). |
| 26. | Cantidad de sustancia | Los cambios en el número o cantidad de elementos (materiales, sustancias, partes o subsistemas) del sistema, ya sea total o parcialmente, permanente o temporalmente. |
| 27. | Fiabilidad | La capacidad del sistema para realizar consistentemente las funciones prescritas para mantener sus características dentro de ciertos límites bajo determinadas condiciones de operación, mantenimiento, reparación y transporte. |

| | | |
|------------|--|---|
| 28. | Precisión de la medición | La capacidad de medir con precisión el valor real de la cantidad que se mide. |
| 29. | Precisión de fabricación | La capacidad del sistema que se está fabricando para corresponder estrechamente a sus especificaciones de diseño. |
| 30. | Factores dañinos afectados por el objeto | Factores externos (es decir, aquellos que no han sido generados por la estructura del sistema o por sus propiedades inherentes) que pueden reducir la eficiencia del objeto o sistema o la calidad de su operación. |
| 31. | Factores nocivos generados por objetos | Efectos secundarios nocivos, que han sido generados por la propia estructura del sistema o por sus propiedades inherentes que pueden reducir la eficiencia y calidad del funcionamiento del sistema u objeto. |
| 32. | Facilidad de fabricación | La conveniencia, comodidad, facilidad de fabricación o el sistema u objeto. |
| 33. | Facilidad de operación | La conveniencia, comodidad, facilidad de uso u operación del sistema u objeto. |
| 34. | Facilidad de reparación | La conveniencia, comodidad, facilidad de reparar fallas y fallas en el sistema. |
| 35. | Adaptabilidad o versatilidad | La capacidad del sistema para adaptarse fácilmente al entorno interactivo cambiante y para su uso o aplicación en una multitud de formas. |
| 36. | Complejidad del dispositivo | El número y variedad de componentes que forman el sistema, así como sus relaciones; también la dificultad de dominar un dispositivo dado por parte del usuario. |
| 37. | Dificultad para detectar y | El costo y la complejidad de medir las propiedades de un |

| | | |
|------------|------------------------------|--|
| | medir | sistema u objeto, o de monitorear su desempeño. |
| 38. | Alcance de la automatización | La capacidad del objeto o sistema para operar sin interferencia o asistencia humana. |
| 39. | Productividad | El número de operaciones realizadas por el sistema por unidad de tiempo o la cantidad de tiempo dedicado a una sola operación. |

Anexo A2: Tabla de definición de los parámetros de cambio según la metodología TRIZ.

A3. Los 40 parámetros de solución.

| No | Parámetro | Descripción |
|-----|-------------------------------|--|
| 1. | Segmentación (fragmentación). | Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un objeto con secciones para facilitar su ensamble y desensamble. Aumentar el grado de segmentación de un objeto. |
| 2. | Separación (extracción). | Extraer la parte o propiedad perturbadora de un objeto. Extraer sólo la parte o propiedad necesarias de un objeto. |
| 3. | Calidad local. | Transición de una estructura homogénea de un objeto a otra heterogénea. Partes diferentes de un objeto deberán realizar funciones diferentes. Cada parte de un objeto deberá colocarse bajo las condiciones que sean las más favorables para su operación. |
| 4. | Cambio de simetría. | Reemplazar las formas simétricas con asimétricas y viceversa. |
| 5. | Fusión (consolidación). | Consolidar en espacio los objetos homogéneos o los objetos destinados para las operaciones contiguas. Consolidar en el tiempo las operaciones homogéneas o contiguas. |
| 6. | Multifuncionalidad. | Un objeto puede ejecutar varias funciones diferentes; por consiguiente, pueden quitarse otros elementos. |
| 7. | Anidamiento (Matrushka). | Un objeto se coloca dentro de otro. Ese objeto es colocado dentro de un tercero. Y así sucesivamente. Un objeto pasa a través de una cavidad en otro objeto. |
| 8. | Compensación de peso. | Compensar el peso de un objeto combinándolo con otro que provea una fuerza para levantarlo. Compensar el peso de un objeto con fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas influenciadas por el medio ambiente exterior. |
| 9. | Reacción preliminar. | Pretensado de un objeto para compensar el esfuerzo excesivo e indeseable. |
| 10. | Acción preliminar. | Realizar de antemano los cambios requeridos en un objeto, total o parcialmente. Cambiar desde un principio la localización de objetos, para que estén situados de la manera más conveniente, para que puedan actuar de inmediato. |

| | | |
|-----|---|---|
| 11. | Compensación de antemano. | Compensar la confiabilidad baja de un objeto con medidas de emergencia preparadas anticipadamente. |
| 12. | Equipotencialidad (traer cosas al mismo nivel). | Cambiar la condición del trabajo en forma tal que no se requiere elevar o bajar un objeto. |
| 13. | Hacerlo en reversa. | En lugar de la acción directa dictada por un problema, instrumentar una acción opuesta. Por ejemplo, enfriar en lugar de calentar. Hacer estática la parte móvil de un objeto o de su entorno. Voltrear un objeto de arriba hacia abajo. |
| 14. | Aumentar la curvatura. | Reemplazar las partes lineales con curvas, superficies planas con esféricas y formas de cubo con formas de pelota. |
| 15. | Partes dinámicas. | Alterar las características de un objeto o de su entorno para proveer el funcionamiento óptimo de cada operación. |
| 16. | Acciones parciales o excesivas (hacer un poco menos o un poco más). | Si es difícil conseguir el 100% de un efecto deseado, realice menos o más de ese porcentaje. |
| 17. | Cambio de dimensiones (otra dimensión). | Transición del movimiento de un objeto en una dimensión en uno de dos dimensiones; en dos dimensiones en uno de tres dimensiones, etc. Utilizar la composición de niveles múltiples de objetos. Inclinar un objeto o colocarlo de lado. Usar el lado opuesto de una superficie. Proyectar líneas ópticas en áreas circundantes de un objeto o en su lado inverso. |
| 18. | Vibración mecánica. | Emplear la oscilación. Si ya existe la oscilación, aumentar su frecuencia a ultrasónica. Usar la frecuencia de resonancia. Reemplazar las vibraciones mecánicas con piezovibraciones. Aprovechar las vibraciones ultrasónicas conjuntamente con un campo electromagnético. |
| 19. | Acción periódica. | Sustituir una acción continua con una periódica (impulso). Si la acción ya es periódica, cambiar su frecuencia. Servirse de pausas entre impulsos para proporcionar acciones adicionales. |
| 20. | Continuidad de la acción útil. | Efectuar una acción sin interrupciones. Todas las partes del objeto deberán operar constantemente a toda su capacidad. Quitar el movimiento ocioso o intermedio. Sustituir el movimiento |

| | | |
|-----|--|---|
| | | hacia “atrás y delante” con uno rotatorio. |
| 21. | Apresuramiento. | Efectuar acciones peligrosas a mucha velocidad. |
| 22. | Convertir daño en beneficio. | Aprovechar los factores dañinos, especialmente ambientales, para obtener un efecto positivo. Remover un factor nocivo combinándolo con otro factor indeseable. Aumentar el grado de la acción perniciosa a un grado que cese de ser perjudicial. |
| 23. | Realimentación. | Introducir la realimentación. Si ya existe, cambiarla. |
| 24. | Mediador o intermediario. | Dedicar un objeto intermediario para transferir o efectuar una acción. Conectar temporalmente al objeto original otro que pueda quitarse fácilmente. |
| 25. | Autoservicio. | Un objeto debe darse servicio a sí mismo y efectuar operaciones suplementarias y de reparación. Emplear energía o material de desperdicio. |
| 26. | Copiar. | Utilizar una copia barata y simplificada en lugar de un objeto original frágil o inconveniente para operar. Si se emplea una copia óptica visible, suplirla con copias infrarrojas o ultravioletas. Sustituir un objeto, o sistema de objetos, con su imagen óptica. Esta imagen puede reducirse o ampliarse. |
| 27. | Desechos baratos. | Suplir un objeto costoso con otro barato, comprometiendo otras propiedades, por ejemplo, su duración. |
| 28. | Sustitución de la interacción mecánica (uso de campo magnético, eléctrico, térmico y otros). | Reemplazar un sistema mecánico con otro óptico, acústico, térmico u olfatorio. Emplear un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con un objeto. Suplir campos que son estáticos con dinámicos, fijos en el tiempo con cambiantes, aleatorios con deterministas. Usar campos conjuntamente con partículas ferromagnéticas. |
| 29. | Neumática e hidráulica. | Sustituir las partes sólidas de un objeto con gases o líquidos. Estas partes pueden usar aire o agua para inflarse o emplear cojinetes neumáticos o hidrostáticos. |
| 30. | Membranas flexibles y delgadas. | Reemplazar las construcciones normales con membranas flexibles o películas delgadas. Aislar un objeto de su ambiente exterior con membranas flexibles o delgadas. |

| | | |
|-----|--|--|
| 31. | Materiales porosos. | Hacer un objeto poroso o usar elementos porosos suplementarios (insertar, cubrir, etc). Si un objeto ya es poroso, llenar los poros, de antemano, con una sustancia. |
| 32. | Cambios de propiedades ópticas (cambio de color). | Cambiar el color de un objeto o de su entorno. Cambiar el grado de transparencia de un objeto o de su entorno. Usar aditivos de color para observar un objeto o proceso que sea difícil de ver. Si tales aditivos ya se están empleando, usar trazos luminiscentes o atómicos. |
| 33. | Homogeneidad. | Los objetos que están interactuando con el objeto principal deberán hacerse del mismo material (o de material con propiedades similares) del que está hecho dicho objeto principal. |
| 34. | Descartando y recobrando. | Un elemento de un objeto se descarta (rechaza, disuelve, evapora, etcétera) al haber terminado su función o que llega a ser sin utilidad, o se modifica durante su proceso de trabajo. Las partes de un objeto deberán reestablecerse durante su trabajo. |
| 35. | Cambios de parámetros (transformación de propiedades). | Cambiar el estado físico del sistema. Cambiar la concentración o densidad. Cambiar el grado de flexibilidad. Cambiar la temperatura o volumen. |
| 36. | Transiciones de fase. | Usar el fenómeno de cambios de fase (por ejemplo, un cambio en volumen, la liberación o absorción de calor, etcétera). |
| 37. | Expansión térmica. | Usar la expansión o contracción del material cambiando su temperatura. Utilizar materiales con coeficientes diferentes de expansión térmica. |
| 38. | Oxidantes fuertes (oxidación acelerada). | Hacer la transición de un nivel de oxidación al siguiente nivel superior. |
| 39. | Atmósfera inerte (medio ambiente inerte). | Suplir el medio ambiente normal con uno inerte. Introducir una sustancia neutral o aditivos en un objeto. Efectuar el proceso en el vacío. |
| 40. | Materiales compuestos. | Sustituir materiales homogéneos con compuestos. |

Anexo A3: Tabla de definición de los parámetros de solución según la metodología TRIZ.

A4. Matriz de soluciones.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | | | | | |
|----|--------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 1 | | | 15.8 | | 29.17 | | 29.2 | | 2.8.15 | 8.10 | 10.36 | 10.14 | 1.35 | 28.27 | 5.34 | | 6.29.4 | | 35.12 | | 12.36 | 6.2.34 | 5.35.3 | 10.24 | 10.35 | 3.26 | 3.11 | 28.27 | 28.35 | 22.21 | 22.35 | 27.28 | 35.3.2 | 2.27 | 29.5 | 26.30 | 28.29 | 26.35 | 35.3 | | | | | |
| 2 | | | 29.34 | | 38.34 | | 40.28 | | 38 | 18.37 | 37.40 | 35.40 | 19.39 | 18.40 | 31.35 | | 38 | 19.1.32 | 34.31 | | 18.31 | 19 | 31 | 35 | 20.29 | 18.31 | 1.27 | 35.26 | 28.18 | 18.27 | 31.39 | 1.36 | 24 | 28.11 | 15.8 | 38.34 | 28.32 | 18.19 | 24.37 | | | | | |
| 3 | 15.8 | | | 10.1 | | 35.30 | | 5.35 | | 8.10 | 13.29 | 13.10 | 28.39 | 28.2 | 2.27 | | 28.19 | 35.19 | | 18.19 | 18.19 | 5.8.13 | 10.15 | 10.20 | 19.6 | 10.28 | 18.26 | 10.1 | 2.19 | 35.22 | 1.39 | 28.1.9 | 6.13.1 | 2.27 | 19.16 | 1.10 | 25.28 | 1.28 | 15.35 | | | | | |
| 4 | 29.34 | | | | 15.17.4 | | | 7.17.4 | | 13.4.8 | 17.10.4 | 1.8.35 | 29 | 34 | 19 | | 10.15 | 32 | 8.35.24 | | 1.35 | 39 | 23.10 | 1.24 | 15.2.29 | 29.35 | 29.40 | 28.32.4 | 29.37 | 17.24 | 17.15 | 1.29.17 | 35.4 | 1.28.10 | 1.16 | 26.24 | 28.24 | 26.16 | 28.29 | | | | | |
| 5 | 2.17 | | 35.28 | | | 17.7 | | 35.8.2 | | 28.1 | 1.14.35 | 15.7 | 35 | 15.14 | | 1.40.35 | 38.18 | 3.25 | | 12.8 | 6.28 | 24.35 | 24.26 | | 30.29 | | 28 | 32.28.3 | 2.32.10 | 1.18 | | 15.17 | 27 | 2.25 | 3 | 1.35 | 1.26 | 26 | 30.14 | | | | | |
| 6 | 29.4 | | 40.29 | | | 10.40 | | 14 | | 28.1 | 1.14.35 | 15.7 | 35 | 15.14 | | 1.40.35 | 38.18 | 3.25 | | 12.8 | 6.28 | 24.35 | 24.26 | | 30.29 | | 28 | 32.28.3 | 2.32.10 | 1.18 | | 15.17 | 27 | 2.25 | 3 | 1.35 | 1.26 | 26 | 30.14 | | | | | |
| 7 | 2.17 | | 14.15 | | | 7.14 | | | 29.30 | 19.30 | 10.15 | 5.34 | 11.2 | 3.15 | | | | | | 19.10 | 15.17 | 10.35 | | 29.30 | | 6.13 | 29.9 | 26.28 | 2.32 | 22.33 | 17.2 | 13.1 | 15.17 | 15.13 | | 15.30 | 14.1.13 | 2.36 | 14.30 | 10.26 | | | | |
| 8 | 29.4 | | 18.4 | | | 17.4 | | | 4.34 | 35.2 | 36.28 | 29.4 | 13.39 | 40.14 | 6.3 | | 2.15.16 | | | 32.18 | 30.26 | 2.39 | 30.26 | 26.4 | 29.30 | | 6.13 | 29.9 | 26.28 | 2.32 | 22.33 | 17.2 | 13.1 | 15.17 | 15.13 | | 15.30 | 14.1.13 | 2.36 | 14.30 | 10.26 | | | |
| 9 | 30.2 | | 14.18 | | 26.7.9 | | | | 1.18 | 10.15 | 35.36 | 36.37 | 2.38 | 40 | | 2.10 | 35.39 | | | 17.32 | 17.7.30 | 10.14 | 30.16 | 10.35 | 2.18 | 32.35 | 26.28 | 2.29 | 27.2 | 39.35 | 22.1.40 | 40.16 | 16.4 | 16 | 15.16 | 1.18.36 | 30.18 | 23 | 10.196 | | | | | |
| 10 | 2.28 | | | 1.7.35 | | 1.7.4 | | | 29.4 | 15.35 | 6.35 | 1.15 | 28.10 | 9.14 | 6.35.4 | | 34.39 | | | 35.6 | 7.15 | 36.39 | 2.22 | 2.6.34 | | 14.1 | 25.28 | 25.28 | 22.21 | 17.2 | 15.13 | 29.1.40 | 15.13 | 10 | 15.29 | 26.1 | 29.26.4 | 16.24 | 34 | | | | | |
| 11 | 29.40 | | 35.10 | | 35.8.2 | | | | 38.34 | 36.37 | 36.37 | 29.4 | 1.39 | 15.7 | 6.35.4 | | 10.18 | 10.13.2 | 35 | | 13.18 | 13.18 | 34.10 | 2.22 | 10 | 29.30.7 | 40.11 | 28 | 2.16 | 27.35 | 40.1 | 30.12 | 30.12 | 10 | 15.29 | 26.1 | 29.26.4 | 16.24 | 34 | | | | | |
| 12 | 2.28 | | 19.14 | | 14 | | | | 2.18.37 | 24.35 | 7.2.35 | 35.40 | 17.15 | | 38 | 35.6.4 | | | | 30.6 | | 35.34 | | | | | 35.16 | 2.35.16 | | 35.4 | 35 | | 35.4 | 35 | | 1.31 | 2.17.28 | | 35.37 | | | | | |
| 13 | 13.38 | | 13.14.8 | | 29.30 | | 7.29 | | 13.28 | 6.18 | 35.15 | 28.33 | 3.19 | 8.15 | 35.5 | | 35.2 | 10.13 | 8.15 | | 19.35 | 14.20 | 10.13 | 8.15 | 35.5 | | 14.20 | 10.13 | 8.15 | 35.5 | 35.13 | 32.28 | 34.2 | 15.10 | 10.28 | 3.34 | 26 | 4.34 | 27.16 | 10.18 | | | | |
| 14 | 8.1.37 | 18.13 | 13.14.8 | | 19.10 | 1.18 | 15.9 | 2.36 | 13.28 | 15.19 | 38.40 | 18.34 | 1.18 | 14 | 35.5 | | 35.2 | 19 | 35.38 | | 38.2 | 19.35 | 28.38 | 13.26 | | | 10.37 | 14.29 | 3.35 | 35.10 | 19.17 | 1.16 | 19.35 | 19.35 | 14.15 | 40.5 | | 36 | 18.38 | 13.21 | 23.24 | 37.36 | 40.18 | 38.24 |
| 15 | 18 | 1.28 | 9.36 | 28.1 | 15 | 38.37 | 12.37 | 18.37 | 15.12 | | 11 | 40.34 | 21 | 14.27 | 19.2 | | 21 | | | 19.17 | 36.37 | 14.15 | 40.5 | | | | 36 | 18.38 | 13.21 | 23.24 | 37.36 | 40.18 | 38.24 | 18.1 | 25 | 15.1.11 | 18.20 | 10.18 | 10.19 | 2.35 | 35.37 | | | |
| 16 | 10.36 | 13.29 | 35.10 | 35.1 | 10.15 | 10.15 | 6.35 | | 36.35 | | 35.4 | 35.33 | 9.18.3 | | 19.3.27 | | 35.39 | | | 14.24 | | 10.35 | 10.36 | | | | 10.14 | 10.13 | | 2.33 | | | 1.35.16 | 11 | 2 | 35 | 19.1.35 | 2.36.37 | 35.24 | 35.37 | | | | |
| 17 | 29.40 | 26.3 | 5.4 | 14.16 | 36.28 | 36.37 | 10 | 35.34 | 6.35.36 | 21 | | 15.10 | 35.4 | 17.9 | | | 19.2 | | | 14 | 2.36.25 | 37 | | | | | 36 | 19.35 | 6.28.25 | 3.35 | 22.2.37 | 27.18 | 1.35.16 | 11 | 2 | 35 | 19.1.35 | 2.36.37 | 35.24 | 35.37 | | | | |
| 18 | 8.10 | 15.10 | 29.34 | 13.14 | 5.34.4 | | 14.4 | | 35.15 | 35.10 | 34.18 | 10.14 | | 33.1 | 30.14 | 14.26 | 22.14 | 13.15 | 2.6.34 | | 14 | 35.29 | 3.5 | | | | 14.10 | 10.40 | 32.30 | 22.1.2 | 1.32 | 32.15 | 1.32 | 32.15 | 17.28 | 25 | 2.13.1 | 1.15.29 | 16.29 | 15.13 | 17.28 | | | |
| 19 | 21.35 | 28.39 | 13.15 | 2.11 | 39 | 28.10 | 34.28 | 33.15 | 10.35 | 22.1 | | | | 13.27 | 39.3 | | 32.3 | | | 27.4 | 32.35 | 14.2 | 2.14 | | | | 15.32 | | | 35.23 | 35.40 | | 35.19 | 30 | 10.16 | 32.35 | 2.35 | 35.30 | 2.35 | 35.22 | 35.22 | | | |
| 20 | 2.39 | 1.40 | 1.28 | 17 | 13 | 19.39 | 35.40 | 28.18 | 2.35.40 | 21 | | 2.35.40 | 18.4 | | 35.23 | | 10.30 | | | 2.14 | 21.17 | 21.38 | | | | | 35.28 | 3.17 | 19.35 | 32.19 | 24 | 24 | 22.33 | 22.35 | 35.19 | 30 | 10.16 | 34.2 | 22.26 | 39.23 | 1.8.35 | 40.3 | | |
| 21 | 1.6.40 | 40.28 | 1.15.8 | 3.34 | 9.40 | 10.15 | 9.14 | 8.13 | 10.18 | 10.30 | 13.17 | | 17.9.15 | | 10.35 | 35.23 | 35.1.32 | 27.15 | 13.19 | 29.18 | 27.31 | 38.6 | 30.40 | | | | 35.27 | 35 | | 18.30 | 27.39 | 35.19 | 30 | 10.16 | 34.2 | 22.26 | 39.23 | 1.8.35 | 40.3 | | 29.35 | | | |
| 22 | 15 | 27.1 | 35 | 28.28 | 40.29 | 28 | 14.7 | 17.15 | 26.14 | 3.14 | 18.40 | 35.40 | 35 | | 27.3.26 | | 40 | 35.19 | 10 | 35 | 35.28 | 35 | | | | | 28.10 | 27 | 11.3 | 3.27.16 | 3.27 | 37.1 | 22.2 | 10.32 | 28.2 | 27.11.3 | 15.3.32 | 2.13.28 | 15.40 | 15 | 10.14 | | | |
| 23 | 19.5 | | 2.19.9 | | 19 | | 19.30 | | 3.35.5 | 19.2.16 | 19.3.27 | 28.25 | 13.3.35 | 27.3.10 | | | 39.3 | | | 19.16 | | 35.23 | | | | | 27.18 | 10.40 | 11.2.13 | 3 | 16.40 | | | 33.28 | 16.22 | 27.1.4 | 12.27 | 27 | 1.35.13 | 29.15 | 39.35 | 6.10 | 14.19 | |
| 24 | 34.31 | | | 1.40 | | | | | 35.34 | | | | | | | | 39.3 | | | 19.16 | | 35.23 | | | | | | 27.18 | 10.40 | 11.2.13 | 3 | 16.40 | | | 33.28 | 16.22 | 27.1.4 | 12.27 | 27 | 1.35.13 | 29.15 | 39.35 | 6.10 | 14.19 |
| 25 | 36.22 | 22.35 | | 3.35 | 34.39 | | 40.18 | 35.6.4 | 2.28 | 35.10 | 35.39 | 14.22 | 10.30 | 19.13 | 19.18 | | 36.40 | | | 16 | | 21.17 | 21.38 | | | | 35.28 | 3.17 | 19.35 | 32.19 | 24 | 24 | 22.33 | 22.35 | 35.19 | 30 | 10.16 | 34.2 | 22.26 | 39.23 | 1.8.35 | 40.3 | | |
| 26 | 6.38 | 32 | 15.19.9 | 15.19.9 | 3.35 | 34.39 | | 40.18 | 35.6.4 | 2.28 | 35.10 | 35.39 | 14.22 | 10.30 | 19.13 | 19.18 | | 36.40 | | 16 | | 21.17 | 21.38 | | | | 35.28 | 3.17 | 19.35 | 32.19 | 24 | 24 | 22.33 | 22.35 | 35.19 | 30 | 10.16 | 34.2 | 22.26 | 39.23 | 1.8.35 | 40.3 | | |
| 27 | 19.1 | 2.35 | 19.32 | 19.32 | 2.13 | | 10.13 | | 26.19.6 | 32.30 | 32.3.27 | 35.19 | 2.19.6 | | | | 32.35 | | | 32 | 1.6 | 13.1 | 1.6 | | | | 19.1 | 26.17 | 1.19 | | 11.15 | 3.32 | 15.19 | 32.39 | 28.26 | 19 | 13.19 | 15.1.19 | 6.32.13 | 32.15 | 2.26.10 | 2.25.16 | | |
| 28 | 12.18 | | 12.28 | | 15.19 | | 35.13 | | 18.26 | 23.14 | 19.13 | 5.19.9 | 28.35 | | 19.24 | | 3.14 | | | 6.19 | 12.22 | 35.24 | | | | | 35.38 | 34.23 | 19.21 | | 1.35.6 | | 2.35.6 | 28.28 | | 1.35.6 | 27 | 2.35.6 | 28.28 | | 1.35.6 | | | |
| 29 | 28.31 | | | | 18 | | 8.15.35 | | 21.2 | 25 | 12.2.29 | 17.24 | 35 | 6.18 | | | 27.4 | | | 19.2 | | 35.32 | | | | | | 19.2 | 19.22 | 18 | 1.4 | | | 10.2 | 19.22 | 18 | 1.4 | | | 19.35 | 16.25 | 1.6 | | |
| 30 | 8.36 | 19.26 | 1.10 | | 17.32 | | 30.6.25 | | 26.2 | 22.10 | 29.14 | 35.32 | 26.10 | 19.35 | 2.14 | | 16.6 | | | 10.35 | 28.27 | 10.35 | 10.19 | | | | 35.20 | 19.24 | 19.24 | 19.22 | 28.10 | 26.36 | 35.2 | 19.17 | 20.19 | 19.35 | 28.36 | | 28.36 | | | | | |
| 31 | 38.31 | 17.27 | 35.37 | | 19.38 | 13.38 | 35.6.38 | 30.6.25 | 15.35.2 | 36.35 | 35 | 2.40 | 15.31 | 28 | 10.38 | 16 | | 17.25 | 16.6.19 | 19.37 | | | | | | | 10.6 | 4.34.19 | 28.31 | 32.15.2 | 32.2 | 31.2 | 2.35.18 | 34 | 28.10 | 26.36 | | | | | | | | |



A5. Reporte del proyecto elaborado por *CREAX*.

Innovación del proceso de ascenso y descenso de pasajeros de un vagón de tren del Metro mediante el método TRIZ.



Descripción del problema

Objetivo

El propósito fundamental consiste en encontrar una solución efectiva y, al mismo tiempo, obtener innovación con relación al procedimiento de embarque y desembarque de pasajeros de los compartimentos de los trenes.

Pregunta

¿Es posible innovar el proceso de ascenso y descenso de pasajeros del metro de la CDMX?

| | |
|------------------|-------------------------------|
| Project title | TRIZ Proceso Pasajeros |
| Project sponsor | Facultad de Ingeniería UNAM |
| Project customer | STC Metro CDMX |
| Project team | Héctor Arturo Curiel Alvarado |

| Beneficiarios | Cuáles son las metas? | Aprendizaje a obtener |
|-----------------------------|---|--|
| Facultad de Ingeniería UNAM | Contribuir y aplicar el conocimiento académico de los estudiantes para abordar y resolver problemas sociales. | Es crucial reconocer la importancia del fomento de TRIZ como una metodología sumamente valiosa para abordar problemas en diversos contextos. |
| STC Metro CDMX | Mejorar la experiencia del usuario del servicio con el objetivo de evitar inconvenientes o contratiempos | Es necesario considerar cómo el TRIZ puede ser aplicado para resolver problemas que surgen en los variados sistemas de la |



Héctor
Alvarado

Arturo

Curiel

durante su viaje.

red.

Utilizar la metodología TRIZ para mejorar la eficacia y seguridad del proceso de ascenso y descenso de pasajeros en un vagón de tren del Metro de la CDMX,

Es esencial apreciar la utilidad universal de TRIZ en la solución de problemas en cualquier campo.





Idealidad

Función por lograr

EFICIENCIA

Situación Actual

El flujo de pasajeros no es eficaz ni seguro

Resultado Final Ideal (IFR)

El flujo es eficaz y seguro

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

El espacio del andén es reducido

Razones del OBSTÁCULO

No hay orden de los usuarios

Soluciones para el OBSTÁCULO

- Restringir el acceso al andén
- Colocar puertas o bardas

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

Los usuarios no permiten la salida

Razones del OBSTÁCULO

Son muchos usuarios en el andén



Soluciones para el OBSTÁCULO

- Ampliar el espacio en el andén
- Reconstruir en solución Barcelona

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

Es complicado salirse del vagón

Razones del OBSTÁCULO

- No hay seguridad para los usuarios
- Espacio reducido en el vagón

Soluciones para el OBSTÁCULO

- Permitir los flujos en diversas puertas
- Reducir los asientos en los vagones
- Aumentar el tamaño de los vagones
- Utilizar trenes con pasillo diáfano

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

El lapso del proceso no es suficiente

Razones del OBSTÁCULO

No hay rapidez en el proceso



Soluciones para el OBSTÁCULO

Dar otros lapsos por cada estación

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

El lapso es dado por el conductor

Razones del OBSTÁCULO

El lapso no es automático

Soluciones para el OBSTÁCULO

- Añadir sistemas automáticos
- Limitar la cantidad de pasajeros
- Utilizar autómatas aplicables

IFR

Flujo de pasajeros eficaz y seguro

OBSTÁCULO

El flujo es síncrono y bidireccional

Razones del OBSTÁCULO

No es eficaz ni seguro

Soluciones para el OBSTÁCULO

- Red entre guardias y el conductor
- Aumentar tamaño de los vanos
- Exhortar a despejar el tren



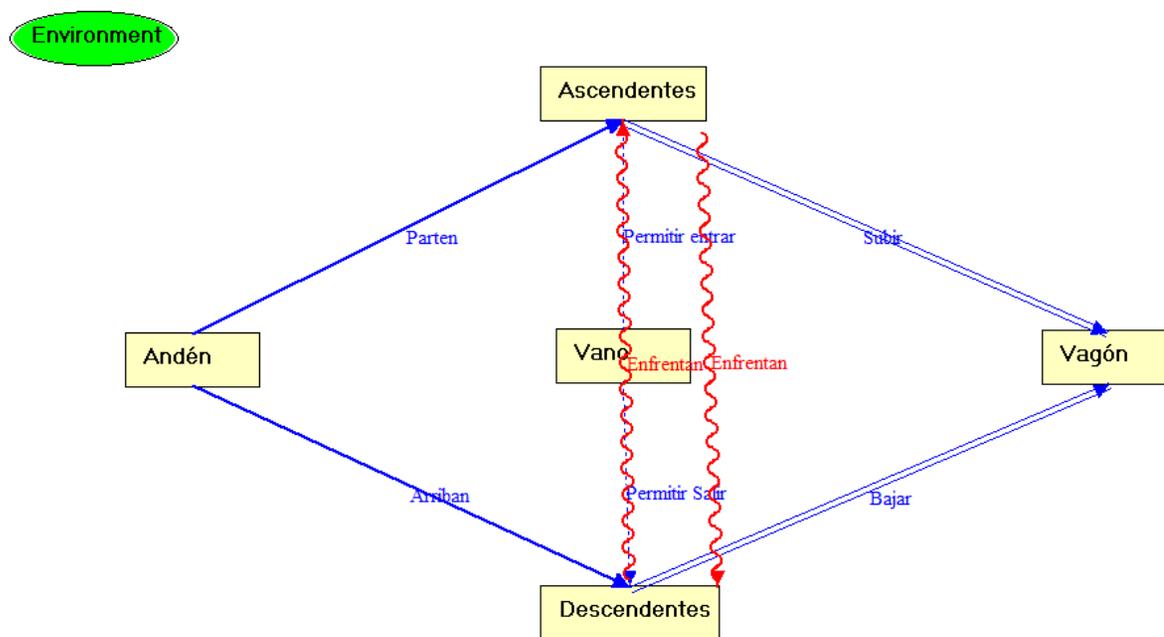
Recursos.

| | Pasado | Presente | Futuro |
|--------------|--|--|--|
| Supersistema | <ul style="list-style-type: none">• Conductor• Puertas• Policías• Señalizaciones | <ul style="list-style-type: none">• Proceso• Conductor• Puertas• Lapso• Policías• Señalizaciones | <ul style="list-style-type: none">• Policías• Señalizaciones |
| Sistema | <ul style="list-style-type: none">• Vagón• Andén• Pasajeros T1• Pasajeros T2 | <ul style="list-style-type: none">• Vagón• Andén• Pasajeros T1• Pasajeros T2• Vano | <ul style="list-style-type: none">• Vagón• Andén |
| Subsistemas | <p>Subsistema Vagón:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pasajeros T2• Pasajeros T3• Asientos y sujeta manos <p>Subsistema Andén:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pasajeros T1• Puntos de espera• Espacios de salida | <p>Subsistema Vagón:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pasajeros T2• Pasajeros T3• Asientos y sujeta manos <p>Subsistema Andén:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pasajeros T1• Puntos de espera• Espacios de salida | <p>Subsistema Vagón:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pasajeros T3• Asientos y sujeta manos <p>Subsistema Andén:</p> <ul style="list-style-type: none">• Puntos de espera• Espacios de salida |



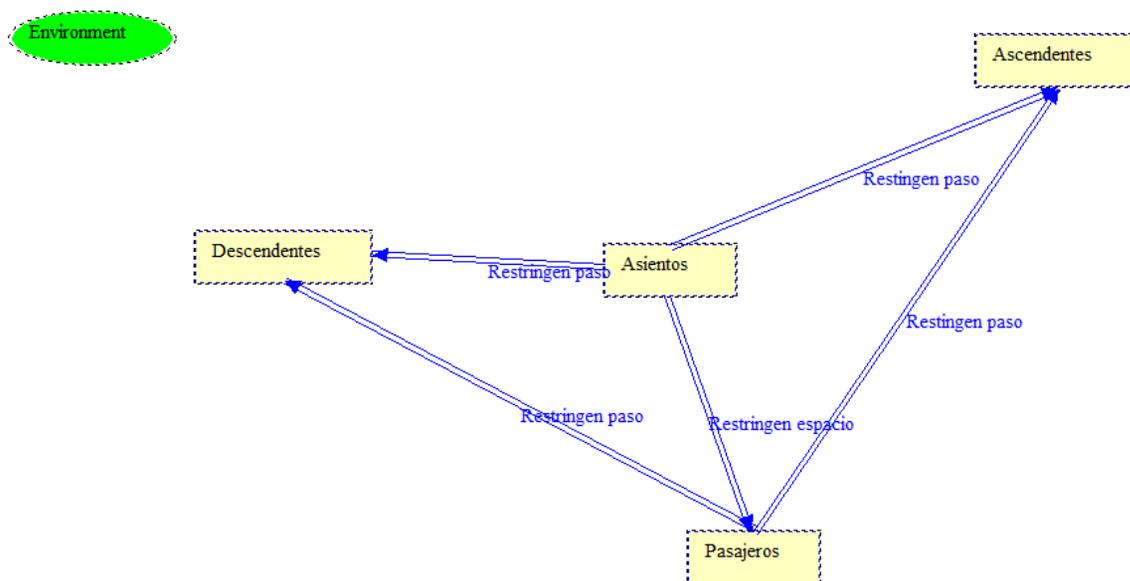
Modelos del Sistema.

Sistema



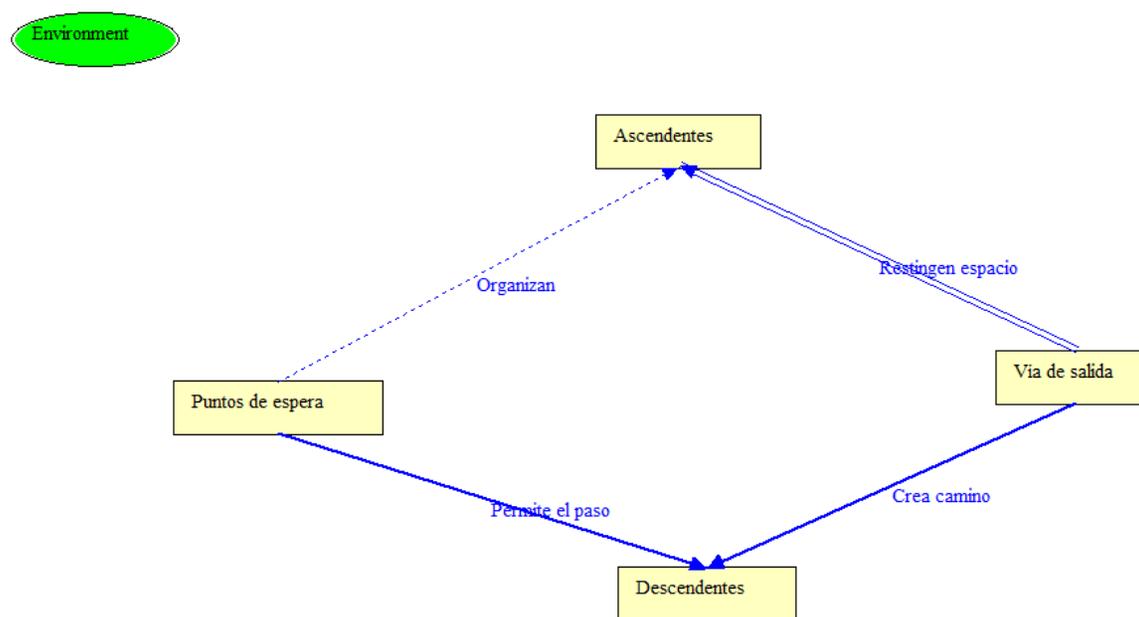


Subsistema Vagón



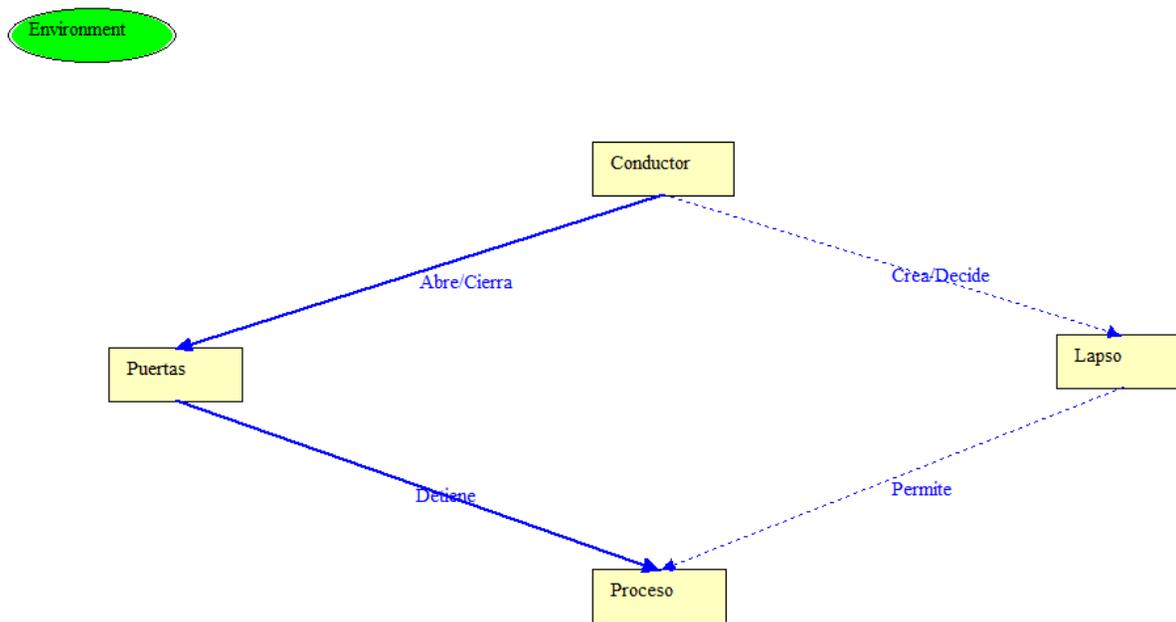


Subsistema Andén





Supersistema





Contradicciones

Técnicas:

1. La colocación de puntos de espera para los pasajeros que ingresan al vagón permite organizar una fila para los usuarios, pero reduce significativamente el espacio disponible en el andén.
2. La creación de un espacio de salida amplia para los pasajeros que descienden del vagón agiliza el proceso, pero su funcionalidad se ve condicionada por la cantidad de personas sobre el andén.
3. Al colocar asientos, sujeta manos y pasajeros que no descenderán del tren en el mismo vagón junto a los pasajeros que sí descienden, se permite transportar un mayor número de usuarios, pero esto restringe excesivamente el movimiento y el espacio para la salida de estos últimos.
4. Reducir el tiempo del proceso garantiza su rapidez de ejecución, pero al mismo tiempo aumenta el riesgo de comprometer la seguridad de los usuarios.
5. Brindar la opción al conductor de determinar el lapso en el que se realiza el flujo de pasajeros permite agilizar el proceso, pero lo hace menos automático y sujeto a la toma de decisiones individuales.
6. Permitir el flujo sincronizado de pasajeros que ingresan y salen del tren podría acelerar el proceso, pero plantea problemas de seguridad y eficiencia.

Físicas:

1. Es necesario establecer un lapso suficientemente amplio para garantizar la seguridad de los pasajeros durante el flujo, pero al mismo tiempo, debe ser lo suficientemente corto para que el proceso sea ágil y eficiente.

Parámetros:

| Enu. | Parámetro a mantener | Parámetro a mejorar | No. Relacionado P. mantener | No. Relacionado P. mejorar | Parámetros de Solución Obtenidos |
|------|----------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | Orden | Espacio | 13 | 6 | 2,38 |
| 2 | Velocidad | Funcionalidad | 9 | 27 | 11,21,28,35 |
| 3 | Cantidad | Movimiento/Espacio | 26 | 6,31 | 2,3,4,18,24,39,40 |
| 4 | Velocidad | Seguridad | 9 | 30 | 1,23,28,35 |
| 5 | Duración | Automatización | 15 | 38 | 6,9 |
| 6 | Eficiencia | Seguridad | 9,39 | 30 | 1,13,22,23,24,28,35 |



Conclusión del proyecto

En este trabajo, se aplicó la metodología TRIZ para abordar problemas de seguridad y eficiencia en el proceso de embarque y desembarque en el ST Metro. TRIZ, originalmente centrada en problemas técnicos, se empleó aquí para generar soluciones creativas y avanzadas.

Se usaron recursos literarios y la herramienta *CREAX* para agilizar la generación de ideas creativas, adaptando el método ARIZ de *CREAX*. Aunque TRIZ ofrece ventajas para mejorar sistemas, su aplicación no técnica podría introducir sesgos creativos.

A pesar de los resultados positivos en la mejora del intercambio de pasajeros, se plantean problemas como el costo y la interrupción del servicio debido a la implementación. TRIZ no sigue el método científico, sino una perspectiva filosófica, como se refleja en TRIZ Arte.

El objetivo implícito es promover TRIZ como opción para solucionar problemas en STC Metro, priorizando la seguridad y mejorando el servicio. TRIZ demuestra utilidad en diversos proyectos, incluso en áreas poco exploradas, al generar innovación en sistemas en desarrollo.