

Diseño de un sistema de gestión de flujo para una línea de ensamble en la industria aeroespacial

Design of a flow management system for an assembly line in aerospace industry

Recibido: 14/02/2018

Aceptado: 28/06/2018

Yaxail Mata Robledo
ORCID: 0000-0001-5041-0102

Guillermo Ernesto Frades Castedo
ORCID: 0000-0002-5713-0717

RESUMEN

El arranque de un proceso de manufactura en la industria aeroespacial enfrenta diversos retos para cumplir los calendarios de producción. El objetivo de este estudio es determinar una solución-concepto que, aplicada a la secuencia del ensamble de componentes aeroespaciales permita minimizar el trabajo detenido, cuando se presenten situaciones problemáticas, como por ejemplo; la ausencia de alguna parte a ensamblar o una herramienta, o la presencia de una anomalía de calidad en el proceso. Llámese a este enfoque gestión del flujo de trabajo. La aplicación del algoritmo ARIZ-85C como parte de la Teoría de Solución de Problemas de Invención, TRIZ, provee un marco de trabajo para generar la solución-concepto. Los resultados demuestran un mejoramiento de un cincuenta por ciento en la proporción de trabajo detenido; por lo tanto solución resulta aplicable a secuencias de ensamble de componentes aeroespaciales. De este modo, la gestión del flujo de trabajo contribuye a lograr los objetivos de producción.

Palabras clave: aeroespacial, algoritmo ARIZ-85C, gestión de flujo del trabajo.

ABSTRACT

The start of a manufacturing process in the aerospace industry faces several challenges to meet production schedules. The objective of this study is to determine a concept solution that, applied to the assembly sequence of aerospace components allows to minimize the work stopped, when problematic situations arise, as for example; the absence of any part to assemble or a tool, or the presence of a quality anomaly in the process. Naming this workflow management approach. The application of the algorithm ARIZ-85C as part of the Theory of Solution of Invention Problems, TRIZ, provides a framework to generate the solution concept. The results show an improvement of fifty percent in the proportion of work stopped. The solution is applicable to assembly sequences of aerospace components. Workflow management helps achieve production goals.

Keywords: aerospace, algorithm ARIZ-85C, workflow management.

Como referenciar este artículo: Mata, Y. y Frades, G. E. (2018). Diseño de un sistema de gestión de flujo para una línea de ensamble en la industria aeroespacial. En *Administración y Organizaciones*, 21 (41), 91-104.

* Maestro. Centro de Tecnología Avanzada, Sede Querétaro, México.

**Investigador. Alianza para la Innovación y Competitividad, Sede Querétaro, México.

Introducción

En la industria aeronáutica de México se ha trabajado continuamente para lograr una manufactura de clase mundial que permita instalar un sistema de producción robusto y flexible, optimizando la capacidad y control del proceso por medio del mejoramiento continuo y una sistemática eliminación del desperdicio. Por ello, se desarrollan estrategias que permitan reducir costos, mejorar el tiempo de entrega y motivar la preferencia del cliente. La puesta en marcha de una línea móvil de ensamble, junto a la gestión del flujo de trabajo, promoverá el mejoramiento continuo.

El producto se compone, principalmente, de elementos metálicos y sistemas unidos por algún tipo de sujeción, con miles de pasos de ensamble a realizar. El proceso actual está sujeto a enfrentarse a situaciones del tipo estocásticas donde el ensamble de partes puede ser interrumpido por la presencia de diferentes situaciones, como; la ausencia de alguna parte a ensamblar, de una herramienta, incluso la presencia de una anomalía de calidad en el proceso. Esta condición impide el progreso planeado del trabajo y, por ende, el establecimiento de un esquema de producción armonizado al consumo del cliente, como lo es una línea de ensamble móvil.

El problema se define de la siguiente manera: existe un retraso en los envíos, entre dos y tres unidades de producto terminado en el programa de ensamble estructural metálico, condición que ha aumentado desde el inicio de la aceleración de producción.

Este estudio tiene su justificación en la futura implementación de una línea móvil de ensamble a través de la gestión de flujo del trabajo. Así, el concepto-solución se muestra como una vía para establecer una referencia, tanto interna como externa, en el proceso dentro de la organización; además de fungir como pionera en dicho tipo de ensamble. El gestionar de manera sistemática el flujo del trabajo pondrá a las funciones de soporte del proceso en constante reto y expondrá las oportunidades organizacionales, dando paso a la mejora continua al aumentar simultáneamente el valor agregado.

Es menester destacar que la solución al problema en el cumplimiento del calendario de envíos tiene un alto impacto en los arranques de nuevos programas de producción ya que, está en juego la reputación de la empresa ante clientes con una alta exigencia. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es proveer una solución- concepto aplicable a la secuencia de ensamble en componentes aeroespaciales que minimice la proporción de operaciones de ensamble detenidas en al menos 15%, a través de la gestión del flujo de trabajo. La variable dependiente cuantificable es la proporción del trabajo detenido, cuando se enfrenta a una situación problemática.

$$\text{Proporción del trabajo detenido} = \frac{\sum \text{Operaciones detenidas}}{\sum \text{Operaciones del ensamble}} \times 100$$

La solución-concepto se deriva con la aplicación del algoritmo ARIZ-85C, como parte del método científico dentro de TRIZ, la cual promueve la investigación e innovación.

1. Marco teórico

Al observar una planta de manufactura en funcionamiento, se puede apreciar dos principales tipos de flujo; 1) flujo de materiales y 2) flujo de personas (Rother y Shook, 1999). Estos convergen con una serie ordenada de pasos que van transformando la materia prima en el producto final deseado. El principio de una línea de ensamble es sistémico, simple, lineal y predecible. H.B. Maynard and Company, Inc. (Bidanda, 2004), define línea de ensamble como una serie de estaciones de trabajo manuales o automáticas a través de las cuales uno o varios productos son ensamblados secuencialmente.

Línea de ensamble en la industria aeroespacial

La industria automotriz ha sido referente histórico en la industria de la transformación, desde los inicios de la administración científica con F. W. Taylor hasta las más avanzadas tecnologías promovidas por la industria 4.0 alemana. La industria aeroespacial ha buscado emular los sorprendentes resultados de la industria automotriz, adoptando sus principios y herramientas en la administración de la producción. La tabla No. 1 describe las principales similitudes y distinciones entre líneas de ensamble automotriz y aeroespacial, utilizando la clasificación de los procesos de Krajewski, Ritzman y Malhotra (2008).

TABLA 1: DIFERENCIAS ENTRE LÍNEA DE ENSAMBLE AUTOMOTRIZ Y AEROESPACIAL

Características	Línea de ensamble Automotriz	Línea de ensamble Aeroespacial
Ambiente de producción	“Hacer para almacenar”	“Hacer por orden”
Organización de los recursos	Centralizado al producto	Centralizado al producto
Tecnología de proceso	Alto grado de automatización	Muy bajo a nulo grado de automatización
Grado de especialización del recurso humano	Bajo a moderado	Muy especializado
Secuencia de ensamble	Muy repetitivo y estandarizado	Muy divergente
Mezcla de modelo	Elevada	Único modelo, especialmente en línea de ensamble final
Tipo de manufactura	Línea de ensamble	Línea de ensamble
Volumen	92 millones de autos anuales (Promexico 2016)	1,500 unidades anuales (FEMIA, 2012)

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, cabe destacar que la manufactura de un producto requiere partir la cantidad total de trabajo en un conjunto de operaciones individuales llamadas “tareas”. Niebel (2007) lo define como Mínimo Elemento Racional de Trabajo, que no puede ser sub-dividido en cualquier otra tarea factible de realizar. Cada tarea requiere un tiempo determinado, equipo, materiales y recurso humano capacitado. Las condiciones tecnológicas y ergonómicas generan restricciones entre las tareas observadas. Respecto a la Teoría de Solución de Problemas de Invención, TRIZ (Teoría Reshenia Izobrietatelskij Zadach, acrónimo en el idioma ruso) (Kaplan 2016), se debe destacar que es considerada como una filosofía, un método y un conjunto de definiciones de problemas y herramientas para su resolución. TRIZ puede ser usado de múltiples formas, tanto como un proceso global que permite a los usuarios analizar y proponer oportunidades de mejora sistemáticamente con la aplicación rigurosa del algoritmo propuesto, como para utilizar aisladamente las distintas herramientas dependiendo del contexto situacional.

La primera gran aportación de TRIZ es la identificación de la contradicción técnica en el sistema (Mann, 2001). Una contradicción técnica existe cuando se intenta mejorar un parámetro y otro lo deteriora. Por ejemplo, cuando se intenta hacer un producto más fuerte haciéndolo más grueso, pero a su vez se hace más pesado. Si se supone que existe un solo parámetro y, por alguna razón se quiere incrementar, pero a su vez reducir, TRIZ lo denomina; contradicción física (Kaplan, 2016), debido a que en un mismo parámetro se crea la contradicción.

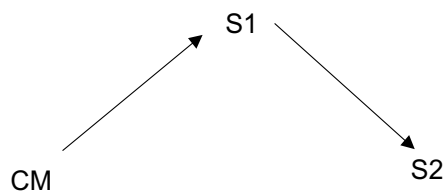
Un segundo elemento importante de TRIZ tiene que ver con la idealidad del sistema. La formulación de idealidad es utilizada para la definición del problema y promueve en los analistas romper el esquema tradicional de pensamiento e iniciar con la descripción de la situación ideal, IFR (Ideal Final Result). Este término es definido como el cociente de la suma de los efectos deseados del sistema, U_i , dividido entre la suma de los efectos nocivos, H_j (Kaplan, 2016).

$$Idealidad = I = \sum U_i \div \sum H_j$$

El tercer elemento importante de TRIZ es la utilización de los recursos. TRIZ hace énfasis en el uso de todos los recursos del sistema que no han sido utilizados a su máximo potencial. La metodología utiliza herramientas que permiten el descubrimiento del uso de los recursos en diferentes niveles del sistema. Una herramienta poderosa es el análisis de campo sustancia (Altshuller 2007).

El concepto “Sustancia”, importante también de clarificar, es todo aquello que tiene una estructura, fija o variable, y que puede ser detectada con los sentidos o con los instrumentos adecuados; por ejemplo: una manzana, una persona, el aire atmosférico, el agua, un clavo, el suelo, etc. (Monterrubio 2005). La representación gráfica del “campo-sustancia” es muy útil para el análisis del modelo del problema. Dicho análisis tiene la siguiente connotación (Monterrubio 2005): 1) línea completa: efecto deseado, 2) línea curvada: efecto nocivo y 3) línea punteada: efecto deseado pero insuficiente. Un ejemplo más, se representa el esquema campo-sustancia de un martillo que golpea un clavo, como lo muestra la figura 1 (Monterrubio 2005):

FIGURA 1. RELACIÓN CAMPO-SUSTANCIA



Donde:

CM = Campo mecánico que se aplica al martillo

S1 = Martillo

S2 = Clavo que es golpeado

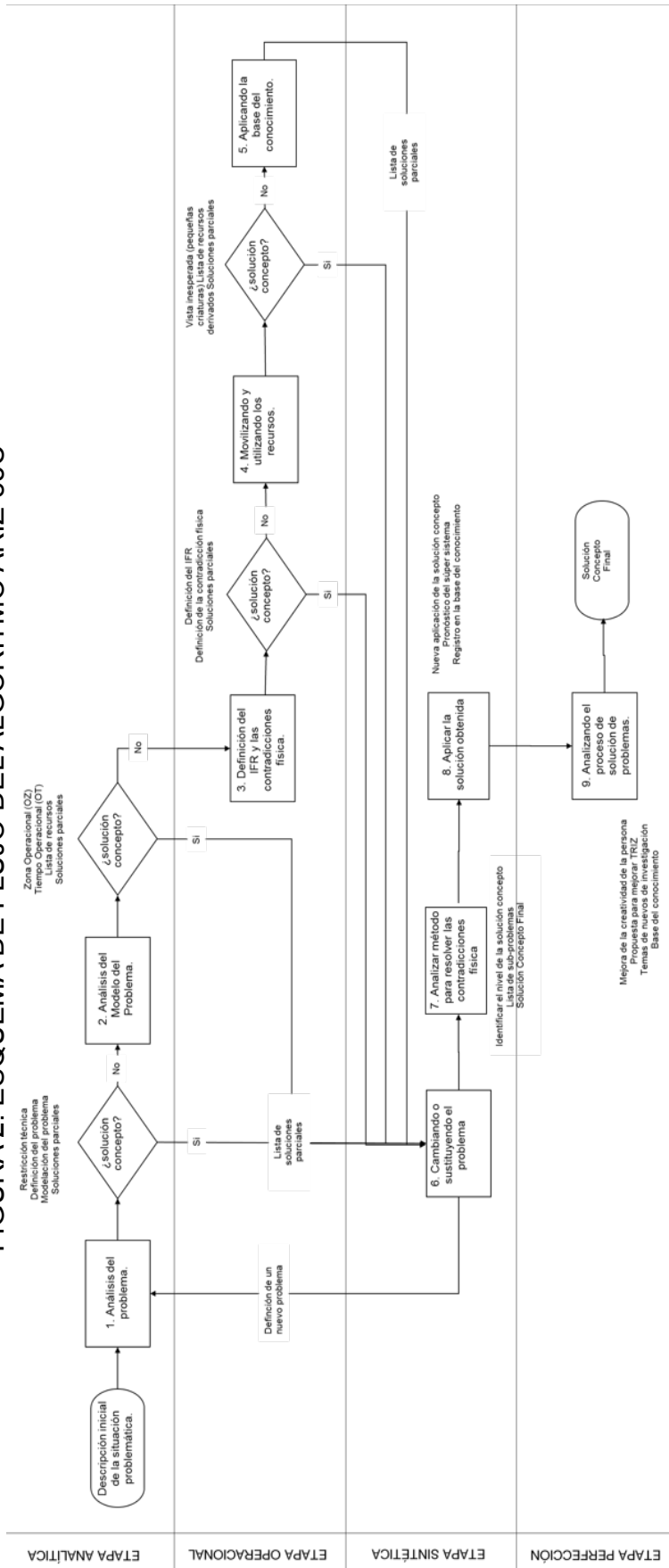
Fuente: elaboración propia.

El último elemento importante de TRIZ es el pensamiento del espacio, tiempo y escala. TRIZ busca la eliminación de las contradicciones mediante la aplicación de una o varios principios de separación (Caluyo 2014).

La identificación de las contradicciones físicas junto con el uso de los principios de separación constituye el uso de la abstracción para resolver un problema (Kaplan 2016). Utilizando los conceptos de idealidad y contradicciones técnicas es posible controlar substancialmente el proceso de solución de problemas de invención. La función de idealidad controla la dirección de búsqueda, mientras que la contradicción técnica indica el obstáculo que debe ser removido. Sin embargo, estas contradicciones se ocultan ingeniosamente dentro de la declaración del problema. Esto requiere una táctica racional que permita paso a paso progresar hacia la solución del problema. El algoritmo de solución de problemas de invención (Altshuller, et al., 2007), proporciona un marco de trabajo para llegar a una solución concepto. La metodología TRIZ ha sido ampliamente utilizada en muchos ámbitos de la vida.

Christian Spreafico y Davide Russo (Spreafico y Russo 2016), en su artículo: "TRIZ industrial case studies, a critical survey", determinan que en un estudio de más de doscientas publicaciones, de diversas fuentes, un poco más del 50% están relacionadas con los campos de energía y electricidad, aparatos domésticos, ingeniería mecánica, automotriz y electrónica. Asimismo, las empresas utilizan TRIZ para mejorar la calidad, reducir la contaminación, lanzamiento de un nuevo producto, mejora de la productividad, innovación en el proceso/producto, reducción de consumo de energía, mejora en la seguridad y reducción de costos. Continuando con la misma línea de investigación, TRIZ ha sido utilizado con estos propósitos: 1) análisis de etapas tempranas del diseño, 2) optimización y robustecimiento del diseño, 3) toma de decisión y pronósticos, 4) eco-diseño y 5) diseño para X.

FIGURA 2: ESQUEMA DE FLUJO DEL ALGORITMO ARIZ-85C



Fuente: Kucharavy, 2006.

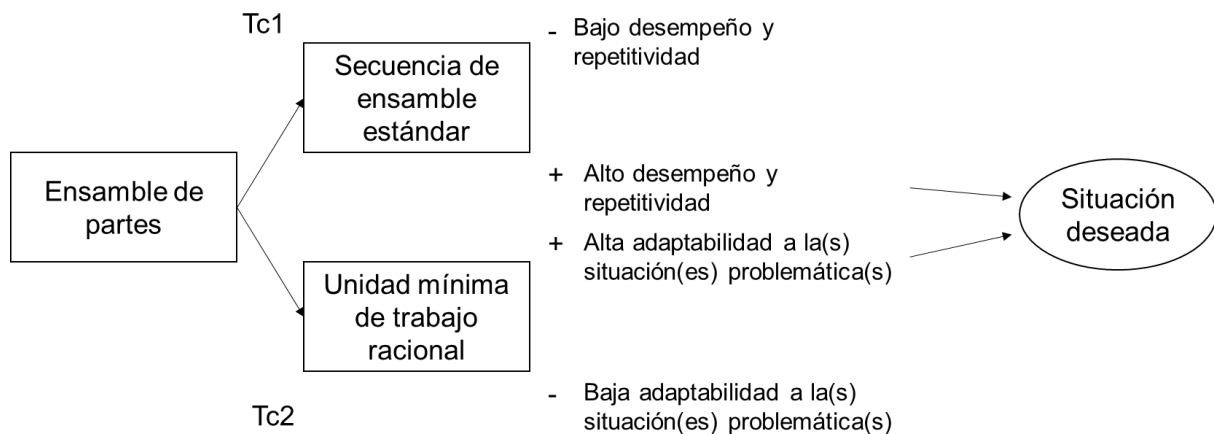
2. Metodología y Análisis

La metodología utilizada fue el algoritmo ARIZ-85C. El algoritmo desempeñó tres funciones principales (Bukhman 2010): 1) responder las preguntas de cómo utilizar los elementos individuales de TRIZ, 2) funcionar como un algoritmo analítico para el pensamiento humano (no para un pensamiento binario computacional) que gentilmente guía de una declaración inicial de un problema a una elegante solución, y 3) promover la creatividad, innovación y evitar la inercia psicológica, que es un enemigo a vencer. La estructura de trabajo del algoritmo ARIZ-85C (Altshuller, 1985), se conformó de cuatro etapas y nueve pasos principales.

El objetivo fue encontrar el sistema de contradicciones técnicas que permitieran modelar el problema. Esto inició con una definición detallada del problema, de la que destaca que la secuencia de ensamble actual no tiene un elemento que permita adaptarse a los cambios no planeados y mantener la repetitividad y eficiencia operacional esperada, cuando se enfrenta a una o varias situaciones problemáticas.

El parámetro que generó una contradicción técnica en esta situación fue la secuencia de ensamble, por lo tanto, el sistema de contradicción técnico quedó planteado en dos contradicciones importantes. La primera de ellas: a) eontradicción técnica (Tc) 1, encontró que la secuencia de ensamble estándar provee la repetitividad y eficiencia en el desempeño del progreso del trabajo, pero no se ajusta a cambios no planeados. Mientras que la contradicción técnica (Tc) 2 identificó que la secuencia de ensamble por una “mínima unidad de trabajo racional” se adapta a los cambios no planeados, pero afecta a la repetitividad y eficiencia en el desempeño del progreso del trabajo. La figura 3 muestra lo mencionado:

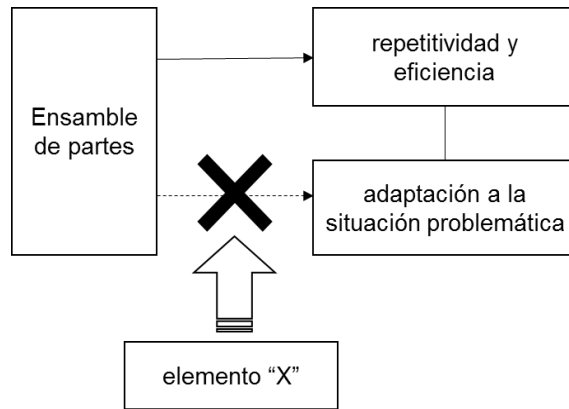
FIGURA 3: SISTEMA DE CONTRADICCIÓN TÉCNICA



Fuente: elaboración propia.

La modelación del problema se concentró en la necesidad de encontrar el elemento “X” en la secuencia de ensamble estándar que ayude a mantener la repetitividad y alto desempeño del operador y que permita continuar con el ensamble ante una situación problemática. La figura 4 muestra esquemáticamente la modelación del problema.

FIGURA 4: MODELACIÓN DEL PROBLEMA

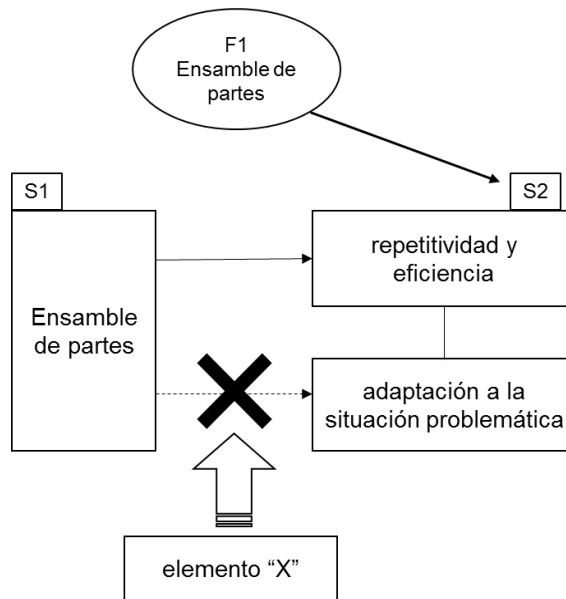


Fuente: elaboración propia.

Una concluido lo anterior, se pasó a un análisis del modelo del problema; le objetivo de este paso fue crear una lista completa de recursos de tiempo, espacio, sustancia y de campo disponible para resolver el problema. Por lo que, al realizar un análisis del modelo del problema, éste arrojó la siguiente información:

1. Recursos internos (herramientas): a) secuencia de la unidad mínima de trabajo racional y b) conocimiento de la competencia (tipo, nivel de habilidad y experiencia).
 2. Recursos externos (medio ambiente): a) secuencia de ensamble estándar y b) capacitación y formación, ya sea interna o externa.
 3. Recursos del súper sistema: a) diseño para el ensamble y b) reclutamiento de personal.
- La figura 5 muestra el esquema del modelo campo-sustancia del problema.

FIGURA 5: MODELO CAMPO-SUSTANCIA DEL PROBLEMA

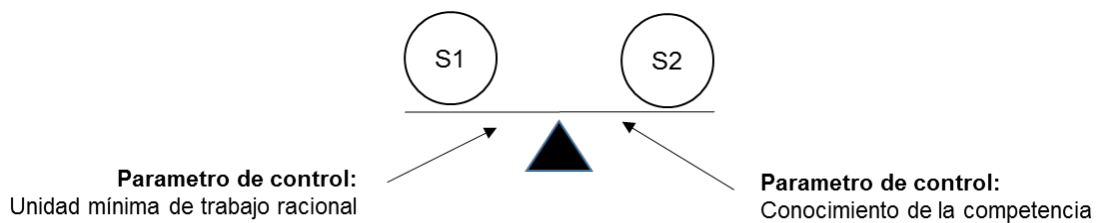


Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se pasó a la definición del Resultado Ideal Final (IFR) donde hubo una identificación de la Contradicción Física (PhC) para impedir el logro de la IFR. La solución ideal no siempre se puede lograr, pero la IFR indicó la dirección de la solución más poderosa.

La contradicción física mencionada estipuló que: La <secuencia por la unidad mínima de trabajo racional> debe <permitir la repetitividad y eficiencia del ensamble> y adaptarse al <conjunto de competencias> actuales, pero no debe ser lo <suficientemente desglosada> que demande una <reconfiguración> completa de la secuencia estándar de ensamble del avión. La figura 6 esquematiza el efecto de la contradicción física contra las sustancias.

FIGURA 6: EFECTO DE LA CONTRADICCIÓN FÍSICA



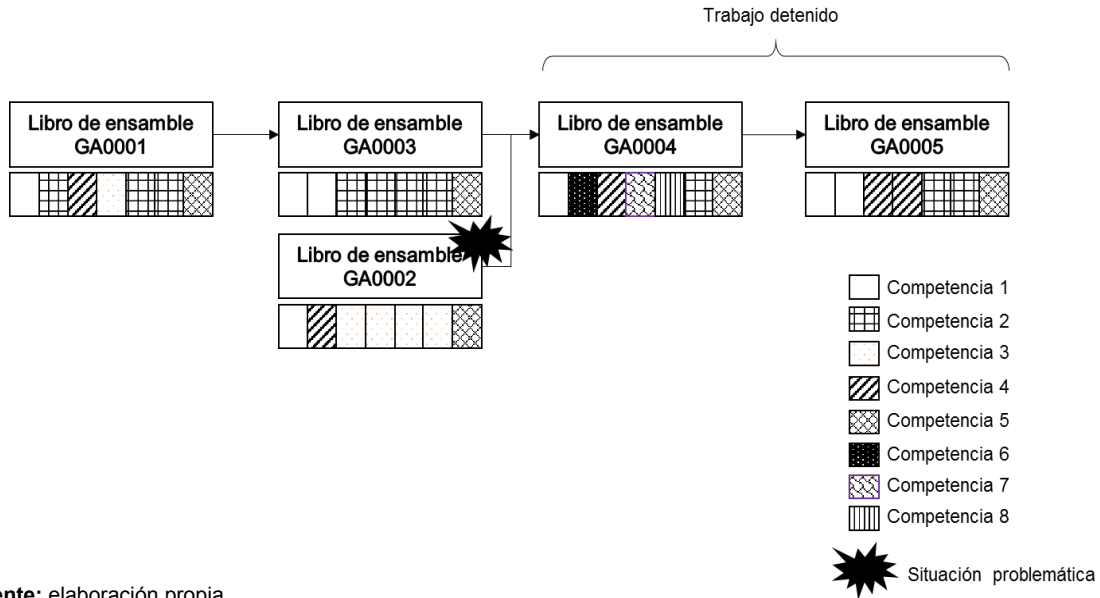
Fuente: elaboración propia.

Esto llevó a pensar en una solución concepto: “La secuencia de ensamble debe estar basada en el conjunto o grupo de competencias necesarios para realizar el ensamble de las partes”.

Para una transición a la solución técnica, fue necesario transferir el concepto de solución de físico a técnico, es decir, formular el principio de acción y desarrollar un diagrama esquemático de un dispositivo que implemente este principio.

Debido a que secuencia de ensamble actual es lineal y se basa en el flujo de pasos necesarios para ensamblar varias partes, la unidad de trabajo actual es muy amplia lo que reduce su capacidad de progresar con el ensamble cuando se enfrenta a una situación problemática. La figura 7 muestra lo mencionado anteriormente.

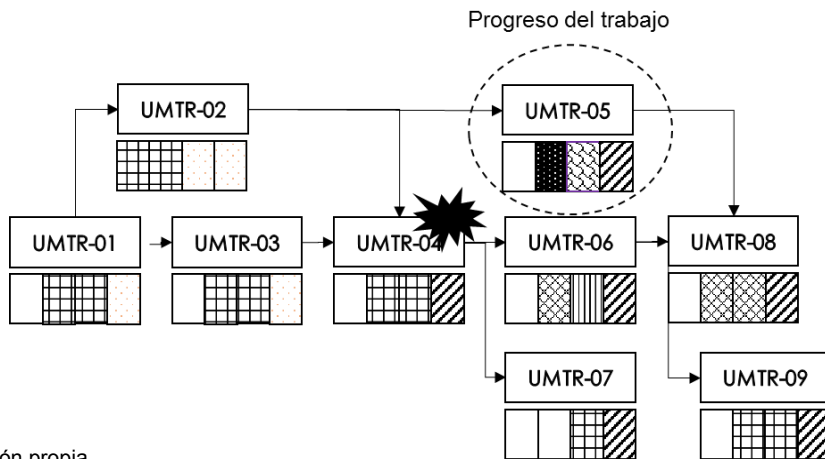
FIGURA 7: SITUACIÓN ACTUAL



Fuente: elaboración propia.

Al enfocar el interés en lo que respecta a la solución-concepto, se debe destacar la preparación de una secuencia de ensamble por la mínima unidad de trabajo racional, basado en la clasificación y agrupación de las competencias requeridas, ayudó a minimizar el trabajo detenido, ante una o varias situaciones problemáticas. La figura 8 muestra el esquema de la solución concepto.

FIGURA 8: SOLUCIÓN CONCEPTO



Fuente: elaboración propia.

A modo de descripción del experimento, fue importante destacar los objetivos: 1) probar la factibilidad de implementación del concepto solución y, 2) determinar y comparar cuantitativamente la condición actual contra la solución concepto, considerando los tres tipos de problemas más recurrentes. El experimento del que se habla fue realizado en la estación de trabajo, donde se lleva a cabo el ensamble de un componente aeroespacial y únicamente

para el ensamble de los soportes metálicos, ya que representan un conjunto de competencias y actividades básicas de ensamble que se pueden extrapolar a otros tipos de componentes fácilmente. La figura 9 muestra una representación gráfica del tipo de ensamble.

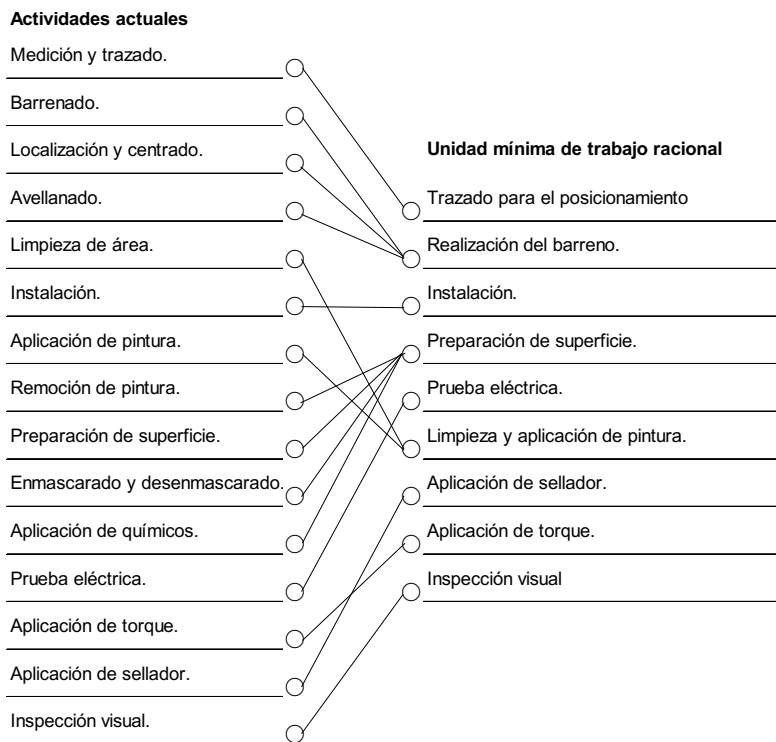
FIGURA 9: REPRESENTACIÓN DEL COMPONENTE AEROESPACIAL



Fuente: elaboración propia.

La agrupación de las actividades en unidades mínimas de trabajo racional se determinó realizando una observación directa en el momento de la ejecución del trabajo. Se tomó en cuenta dónde se podría romper la secuencia actual que permitiera progresar con el trabajo. La figura 10 muestra dicho arreglo.

FIGURA 10: UNIDADES MÍNIMA DE TRABAJO RACIONAL



Fuente: elaboración propia.

Para poder cuantificar el impacto de la solución-concepto se simularon tres situaciones, donde se evaluó la proporción de trabajo detenido basándose en cuadernos de ensamble (situación actual) y unidades mínimas de trabajo racional (solución concepto). Los tres ejemplos de situaciones problemáticas más comunes en la operación fueron: 1) faltante de alguna herramienta, 2) faltante de algún número de parte y, 3) no conformidad (defecto de calidad en el ensamble). La tabla 2 muestra los resultados del ejercicio de cuantificación.

TABLA 2: TABLA DE COMPARATIVA DE RESULTADOS.

Situación hipotética	Porcentaje de afectación		Porcentaje de mejoramiento
	Actual	Solución	
Falta de herramienta. Ejemplo: óhmetro	46%	33%	28%
Falta de una parte con una alta frecuencia de instalación en el mismo número de parte	21%	21%	Efecto nulo
Falta de una de parte con una baja frecuencia de instalación en el mismo número de parte	3.5%	0.9%	74%
No conformidad en el proceso de barrenado en un cuaderno de ensamble con una alta cantidad de partes a ensamblar	3%	15%	Efecto negativo
No conformidad en el proceso de barrenado en un cuaderno de ensamble con una alta cantidad de partes a ensamblar	3%	1.4%	53%

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

Aunado a todo el proceso evidenciado con antelación, los resultados referentes a las situaciones problemáticas oscilaron en varias vertientes. La primera de ellas fue la falta de alguna herramienta. Se tomó el ejemplo de la ausencia del óhmetro, ya que se consideró una herramienta especial de medición para la prueba eléctrica y, por lo regular, el equipo no está disponible para ser usado en todo momento. Ante dicha situación, es posible afirmar que existe una afectación en un 46%, contra un 33% de la solución concepto. El resultado, por lo tanto, fue una mejora del 28%.

Respecto a la situación problemática referente a algún faltante de parte, se emularon los ejemplos de la falta de algún número de parte, tanto que sea muy repetitivo como que se ensamble una sola vez. En este caso se muestra que en el número de parte más repetitivo, el efecto de minimización del trabajo detenido fue nulo, de manera contraria cuando el número de parte se ensambla una sola vez, puesto que el efecto fue más significativo, con un 74% comparado con la situación actual.

En cuanto a la situación problemática referente a la inconformidad de calidad en un cuaderno de ensamble que instale la mayor cantidad de partes como en uno que solo instale una parte, fue importante destacar que el efecto de mejoramiento fue negativo para el ejemplo del cuaderno con mayor cantidad de partes a ensamblar, mientras que fue de manera contraria para el cuaderno con una sola pieza de ensamble, es decir, el porcentaje de mejora fue de 53% con respecto a la situación actual.

Conclusiones

En relación a lo expuesto en el análisis de los resultados, el presente trabajo arrojó como conclusiones que la aplicación del algoritmo ARIZ-85C permitió encontrar el sistema de restricción, a través de la abstracción del problema y determinar una solución concepto.

Asimismo, la aplicación de la solución concepto fue factible de implementar en un experimento aislado y controlado en el proceso de ensamble actual, por lo que fue fácil y viable romper los cuadernos de ensambles actuales, en unidades mínimas de trabajo racional y agruparlos acorde a su tipo de competencia.

En cuanto a la secuenciación del ensamble utilizando las unidades mínimas de trabajo racional para gestionar el flujo del trabajo ante la presencia de problemas en el proceso, minimizó la proporción de trabajo detenido en un 50% (promedio de mejoramiento) cuando existe una alta variedad de números de parte a ensamblar.

Así, la solución-concepto mantuvo enfocados a los operadores de ensamble en un cierto tipo de proceso. El hecho de que los operadores repitieran determinadas operaciones con una mayor frecuencia, no solamente incrementó las habilidades y conocimiento en esta maniobra, sino que se infirió una elevación en la eficiencia y repetitividad de la ejecución.

A modo de cierre, es importante evidenciar que se vislumbró la existencia de numerosos tipos de problemas de balanceo en una línea de ensamble y, a su vez, herramientas computacionales que agilizan el tiempo de respuesta en la toma de decisión, minimizando el riesgo; sin embargo, los sistemas de gestión en la industria están siendo afectados por los cambios en las condiciones de negocio, lo que da a entender que puede ser importante cambiar el modo solución de problemas, que es más o menos aleatorio, a un modo de gestión del problema permanente que busque innovación sistémica, científica y estructurada.

Existe una gran cantidad de estudios documentados con respecto al uso de sistemas informáticos y a pesar de eso, la ejecución del trabajo en la vida real es del tipo estocástica, por ello que la solución propuesta al problema abre oportunidades con respecto a la manera en que se configura la secuencia de ensamble de una aeronave.

Bibliografía

- Altfeld, H. (2010). *Lean Manufacturing in the Aircraft Industry*, Hamburgo: Royal Aeronautical Society Hamburg Branch e.V.
- Altshuller, G. (1985). *Algorithm of Inventive Problem Solving* :Genrich Altshuller .
- Altshuller, G., Shulyak, L. y Rodman, S. (2007). *The innovation algorithm TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. 2nd ed. Worcester, Massachusetts: Technical Innovation Center.
- Becker, D. (2003). *The Boeing 737 / 757 Lean Story*. Renton, Washington: The Boeing Company.
- Bidanda, B. (2004). *Assembly Line Balancing*. En *Maynard's Industrial Engineering Handbook*: McGraw-Hill.
- Caluyo, F. S. (2014). *Innovation and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*: Felicito S. Caluyo.
- FEMIA. (2012). *Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial*, Ciudad de México: Proméxico.
- Kaplan, S. (2016). *An Introduction to TRIZ The Russian Theory of Inventive problem Solving*. Farmington: Farmington: Ideation international Inc.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. y Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones. Procesos y cadenas de valor*. 8va. ed. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Kucharavy, D. (2006). *ARIZ Theory and Practice*. Strasbourg, France: INSA.
- Mann, D. (2001). *An Introduction to TRIZ : The Theory of Inventive Problem Solving*. En *Creativity and Innovation Management*, 10(2): 123-125.
- Monterrubio, O. R. (2005). *TRIZ, La metodología más avanzada para acelerar la innovación tecnológica sistemática*. 1ra ed, México: Panorama.
- Niebel, B. W. (2007). *Motion and time study*. 9a. ed: The University of Michigan.
- Rother, M. y Shook, J. (1999). *LEARNING TO SEE Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Brookline, Massachusetts: The Lean Enterprise.
- Spreafico, C. y Russo, D. (2016). *TRIZ industrial cases studies: a critical survey*: Procedia CIRP Elsevier.