

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN VIRTUAL OPTIMIZADA DE UNA EMPRESA FERROVIARIA EN EL ESTADO DE HIDALGO

Ing. Jesús Vera López <sup>(1)</sup>, Ing. Jocelyn Hernandez Rojas <sup>(2)</sup>

### Introducción

Hoy día las empresas se enfrentan a nuevos retos en la evolución de la industria de trenes ligeros, dada la importancia de ésta en el sector ferroviario, la modelación es de máximo interés para la planificación a largo plazo, permitiendo alcanzar el máximo rendimiento de los procesos productivos, este es un trabajo que consume mucho tiempo en la industria. Los sistemas de producción industriales son a menudo sumamente complejos. La dimensión y complejidad de estos sistemas, junto al carácter dinámico de los componentes individuales, así como sus dependencias e interacciones, hacen muy difícil obtener una configuración óptima del sistema en cuestión. Asimismo, la limitación del tiempo siempre está presente en el entorno productivo, por lo que los ingenieros de producción muchas veces basan sus decisiones sólo en la intuición o en sencillos análisis [1].

Generalmente los procesos industriales tienen un alto contenido de trabajo en cada producto a elaborar, por lo que dichos procesos poseen una gran cantidad de variables a considerar al modelarlos; además, se presentan sucesos o eventos inesperados, y la variabilidad e interdependencias entre subprocesos son altas. Lo anterior justifica que resultaría fructífero modelar dichos procesos usando simulación de eventos discretos [2].

La utilización de modelos de simulación para resolver problemas y tomar decisiones ha ido en aumento. Los usuarios y quienes los construyen toman decisiones con base en los resultados que arroja el modelo, anteriormente se realizaban experimentos de prueba y error, o bien se dependía de manera significativa de la experiencia del personal involucrado en los procesos y fenómenos de estudio [3].

El objetivo de este trabajo ha sido modelar el proceso de fabricación de trenes ligeros mediante el Software DELMIA QUEST, por consiguiente se realizó la optimización de la línea de fabricación de trenes ligeros a nivel metálico, en el cual se identificaron todos los elementos del proceso y se integraron tiempos a cada una de las estaciones considerando datos históricos, posteriormente empleando el método de balanceo de líneas mediante la

---

<sup>(1)</sup> Ing. Jesús Vera López, Candidato para el grado de Maestro en Manufactura Avanzada en CIATEQ de Cd. Sahagún, Hidalgo. [jesus\\_vera\\_l@hotmail.com](mailto:jesus_vera_l@hotmail.com)

<sup>(2)</sup> Ing. Jocelyn Hernandez Rojas, Candidata para el grado de Maestra en Ingeniería Administrativa en el Instituto Tecnológico de Apizaco en el Edo. de Tlaxcala. [jocelyn\\_h\\_rojas@hotmail.com](mailto:jocelyn_h_rojas@hotmail.com)

identificación de la ruta crítica se asignaron estaciones, lo que redujo el tiempo ciclo; al tener ya un proceso balanceado se emplea el Método SLP para definir la distribución en base al grado de importancia de acuerdo a la secuencia de proceso y flujo de material de las estaciones de trabajo, utilizando la carta de relaciones se llega a un Lay-Out óptimo y finalmente se exporta al software QUEST para la simulación.

### Fundamentos

Se han desarrollado multitud de diseños para la temática de optimización mediante simulación de procesos productivos, que es parte medular de este trabajo de investigación, en los años recientes la simulación virtual se ha convertido en una herramienta básica para la solución de problemas operacionales en empresas de manufactura, es de manera que en este apartado se presenta una compilación de artículos de conocimiento frontera de la investigación a desarrollar, donde se presenta una revisión de las principales perspectivas y trabajos dedicados a la investigación, que se han formulado para analizar como actualmente se está realizando la optimización de procesos en empresas del rubro metal-mecánico. Se podrán encontrar herramientas, métricas y metodologías que diversas empresas han utilizado para el análisis de sus procesos, obteniendo una mejora en sus resultados.

En la fase de diseño conceptual de un sistema de producción es muy común que existan múltiples escenarios de cómo configurar este sistema de producción. Tener un modelo por escenario y, por lo tanto, un análisis por cada escenario, fácilmente limita la cantidad de escenarios que podrían ser evaluados debido al tiempo establecido que hay para la toma de decisiones en la industria.

Lo ideal sería ser capaz de analizar todos los escenarios, representados en las diferentes alternativas de diseño, de una manera eficiente. En este tipo de escenarios es probable que gran parte del flujo de producción sea idéntico, con diferencias en lugares específicos. La función de selección (tanto la selección de objetos como la selección de flujo) permite que estas alternativas de diseño se construyan en forma de bloques o se definan en el árbol de selección de flujos, para que más tarde el proceso de evaluación cambie entre las diferentes combinaciones de forma automática. El análisis de este modelo y sus variantes se realiza a través del proceso de optimización mediante simulación para buscar la "mejor" combinación de alternativas de diseño, con sus valores óptimos. Pero también se buscan los valores óptimos de otras variables pertenecientes a los objetivos de optimización. La solución "óptima" se puede, por lo tanto, alcanzar en una sola ejecución de optimización mediante simulación [4].

En el artículo "La extracción de un modelo de simulación de un sistema de software complejo" está lejos de ser trivial y requiere un proceso bien definido que estructura el trabajo de modelado y una herramienta de apoyo de métodos para las actividades de modelado individuales.

En esta sección se propone un procedimiento de este tipo, que utilizan dos métodos complementarios para el modelado de tareas: síntesis de modelo, para el modelado automático de tareas con un comportamiento menos complejo, y se propone un nuevo método, la extracción de modelo híbrido, para el modelado de las tareas más complejas.

En la extracción de modelo híbrido, el análisis estático se utiliza junto con el análisis dinámico con el fin de modelar con precisión las tareas con un comportamiento complejo. Se puede automatizar en gran medida a través de soporte de la herramienta apropiada. El modelo síntesis se basa únicamente en análisis dinámico, lo que hace que sea menos adecuado para el modelado de tareas con un comportamiento complejo, pero es por otra parte totalmente automatizado que hace que sea excelente para el modelado de tareas menos complejas, que a menudo son numerosos en un sistema integrado complejo.

Sobre la base de experiencias anteriores de modelado de un sistema integrado complejo, se propone el siguiente proceso de actividades de alto nivel para el modelado de un sistema complejo mediante la extracción de un modelo híbrido y la síntesis de modelo [5]:

1. Preparación
2. Especificación
3. Síntesis de modelo
4. Extracción modelo híbrido
5. Modelado de medio ambiente
6. Composición modelo de simulación

### **Procedimiento**

*Delimitación del producto mediante sus componentes.* El inicio de la construcción de la línea de producción virtual parte con una identificación general de todos los componentes a nivel de sub ensamble y ensamble basado en la integración del carro, mediante una codificación de las estaciones y operaciones con su descripción y número BTM, (véase en la Tabla 1).

Con la identificación de todos los elementos se integraron tiempos a cada una de las estaciones considerando datos históricos, posteriormente empleando el método de balanceo de líneas y mediante la identificación de la ruta crítica se asignaron estaciones, lo que redujo el tiempo ciclo.

Tabla 1. Codificación y Descripción de Estaciones Generales del Armado de Carro.

ESTACIONES DEL ARMADO DEL CARRO			
ESTACIÓN	CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	NUMERO BTM
1	E3	ESTACIÓN 3	NA
2	E2	ESTACIÓN 2	NA
3	E1	ESTACIÓN 1	NA
3ª	E1A	ESTACIÓN 1ª	NA
1B	E1A-B	ENSAMBLE GENERAL BASTIDOR	NA
2B	E1A-CD	ENSAMBLE GENERAL COSTADO DERECHO	NA
3B	E1A-CI	ENSAMBLE GENERAL COSTADO IZQUIERDO	NA
4B	E1A-T	ENSAMBLE GENERAL TECHO	NA
5B	E1A-C	ENSAMBLE GENERAL CABINA	NA
6B	E1A-F	ENSAMBLE GENERAL FRENTE DE ARTICULACIÓN	NA

Fuente: Elaboración propia (2014).

El tiempo de contenido de trabajo, es la suma de los tiempos de los elementos de trabajo individuales, por lo cual el TWC es:

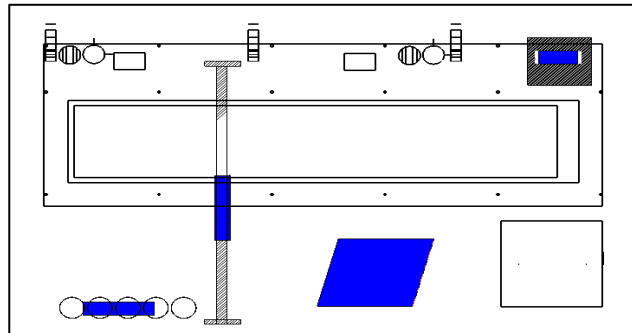
$$\text{TWC} = 98,774.5 \text{ Minutos equivalente a } 1,646.24167 \text{ Horas o } 182.9 \text{ Turnos}$$

Este tiempo TWC, es el tiempo de proceso si la línea fuera continua sin operaciones simultáneas, el cual es el punto inicial para hacer más eficiente la línea. Según el método del candidato mayor para el balanceo de línea, se listan todos los elementos en orden descendiente con su precedencia, posteriormente se asignan a la primera estación los elementos que sean factibles, los cuales satisfacen los requisitos de precedencia, que no causen que la suma de los valores de los tiempos exceda el tiempo ciclo por estación, esto mediante la identificación de la ruta crítica.

La *ruta crítica* es: Estación 3, Estación 2, Estación 1 y la Estación 1A en la cual el Bastidor es el que tiene el tiempo más amplio con respecto a las estaciones que inician al mismo tiempo, por lo cual en la estación E1A se presenta una área de oportunidad para mejorar el tiempo ciclo, al sumar la ruta crítica arroja un tiempo de 57,415 Minutos (Tiempo Ciclo).

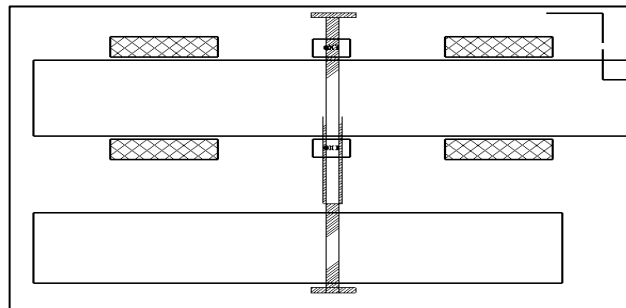
La estación del Bastidor con un tiempo de 24,525 minutos se redujo, dado que es la sub-estación y estación mayormente ofensora al tiempo ciclo.

*Definición de Estaciones.* La Estación E3 con sus 23 operaciones no está precedida por ninguna otra operación y no hay operaciones que sean factibles para ser simultánea, por lo tanto se tomó como primera estación, (véase en la Figura 1).



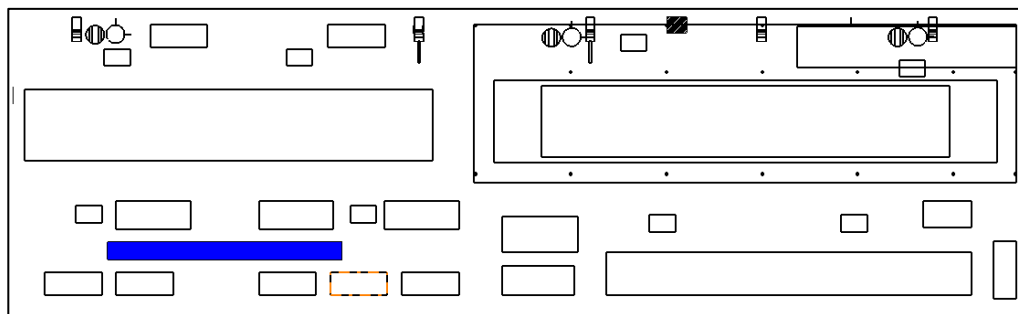
**Figura 1. Estación 3**  
Fuente: Elaboración propia (2014).

La Estación E2 se asigna como estación 2, siendo esta un proceso especial para hacer rígida la estructura del tren, (véase en la Figura 2).



**Figura 2. Estación 2**  
Fuente: Elaboración propia (2014).

La Estación E1 se asigna como estación 3, conjuntamente con sus 16 operaciones sobre la estructura ya armada, (véase en la Figura 3).



**Figura 3. Estación 1 y 1A**  
Fuente: Elaboración propia (2014).

La Estación E1A se define como estación 4, dado que requiere la integración de los 6 ensamblajes mayores para armar la caja, (véase en la Tabla 2).

**Tabla 2. Asignación de Estaciones**

ESTACIONES	OPERACIONES
1	E3
2	E2
3	E1
4	E1A

Fuente: Elaboración propia (2014).

La Estación E1A comprende de los 6 ensambles mayores, los cuales tienen diferentes tiempos por lo cual para balancear esta estación se requirió de 11 sub-estaciones para reducir tiempo ciclo. Al tener listo el proceso balanceado se emplea el Método SLP para definir la distribución considerando el grado de importancia de acuerdo a la secuencia de proceso y flujo de material de las estaciones de trabajo, tomando en cuenta los centros de trabajo (véase en la Tabla 3), la ponderación para evaluar la relación de dichas zonas a implementar (véase en la Tabla 4) y las razones para evaluar el grado de importancia (véase en la Tabla 5).

Y es con esta evaluación que se obtiene la carta de relaciones de las estaciones de trabajo, (véase en la Figura 4).

Posteriormente el lay-out óptimo que nos arrojó el Método SLP se exporta a la librería del programa QUEST, de esta manera esta distribución se coloca como parte del piso para posteriormente utilizarse de guía para colocar mediante objetos de la librería de Quest partes que representen los elementos de la línea de producción (véase en Figura 5).

**Tabla 3. Centros de Trabajo**

No.	Estación 1
1	Cabina
2	Techo
3	Costado Derecho
4	Costado Izquierdo
5	Bastidor
6	Frente de Articulación
7	Largueros Bastidor
8	Travesero de Cuerpo
9	Travesero de Articulación
10	Sub-ensambles Bastidor
11	Sub-ensambles Costados
12	AT Cabina
13	AT Techo
14	AT Costado Derecho
15	AT Costado Izquierdo
16	Sub-ensambles FA
17	Sub-ensambles Techo

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Tabla 4. Ponderación de Relaciones Entre Centros de Trabajo**

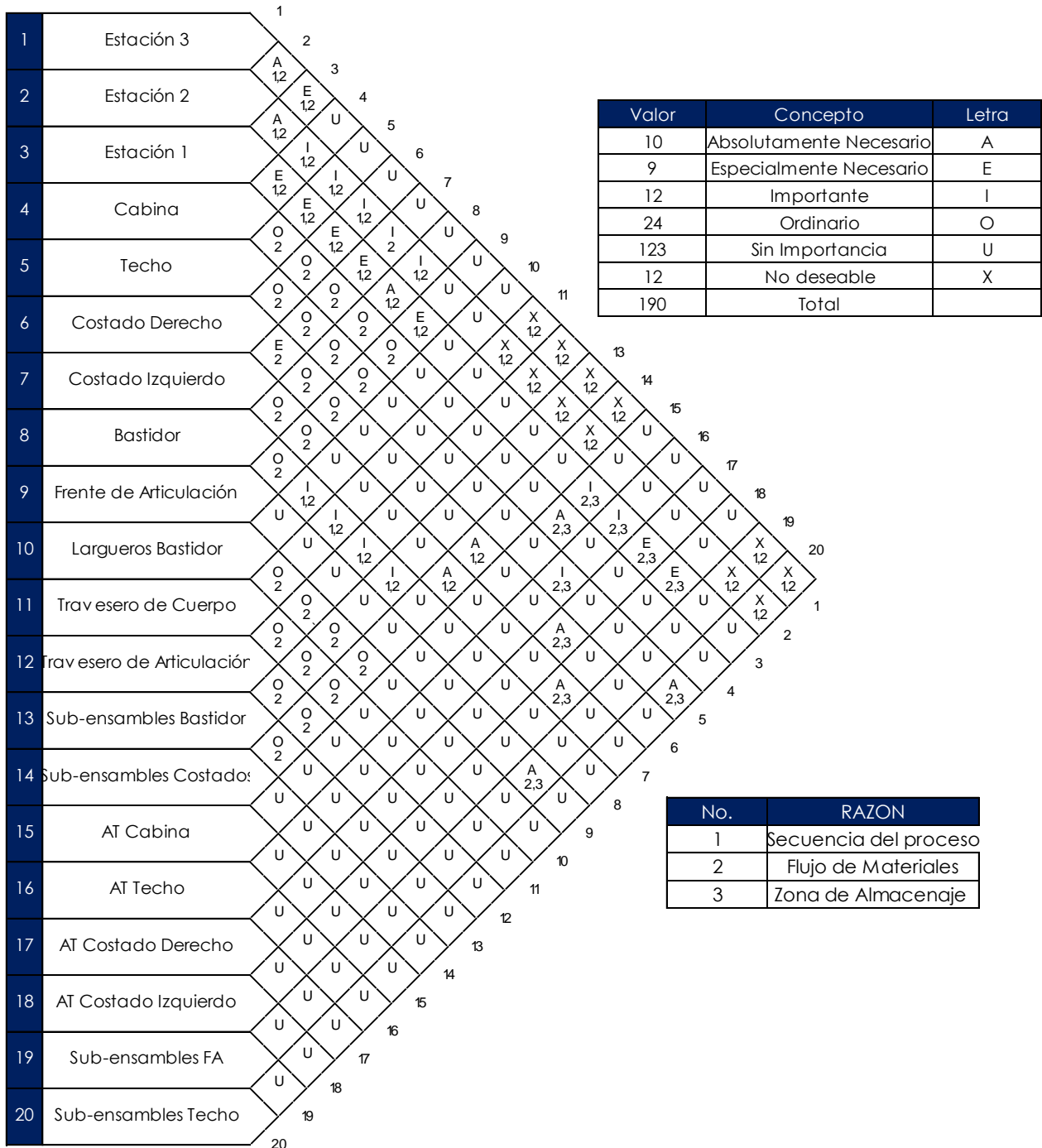
Concepto	Letra
Absolutamente Necesario	A
Especialmente Necesario	E
Importante	I
Ordinario	O
Sin Importancia	U
No deseable	X

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Tabla 5. Razones de Grado de Importancia**

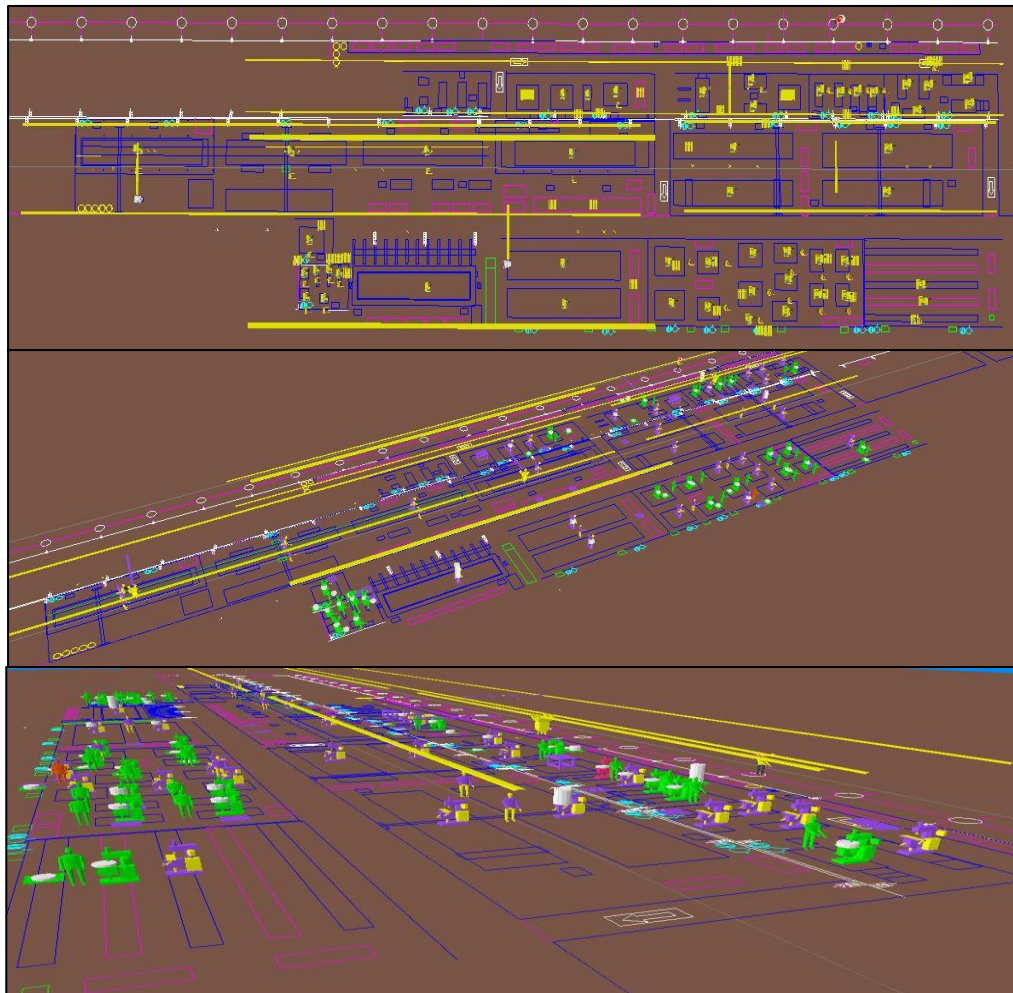
No.	RAZÓN
1	Secuencia del proceso
2	Flujo de Materiales
3	Zona de Almacenaje

Fuente: Elaboración propia (2014).



**Figura 4. Diagrama de Carta de Relaciones**  
 Fuente: Elaboración propia (2014).

Subsecuentemente a cada elemento de la línea de producción se le integra una lógica de operatividad que tendrán dentro del modelo lógico, con esta asignación se plantea alinear a la fabricación de un carro a nivel metalico de trenes ligeros con las restricciones siguientes:



**Figura 5. Línea de producción Virtual**

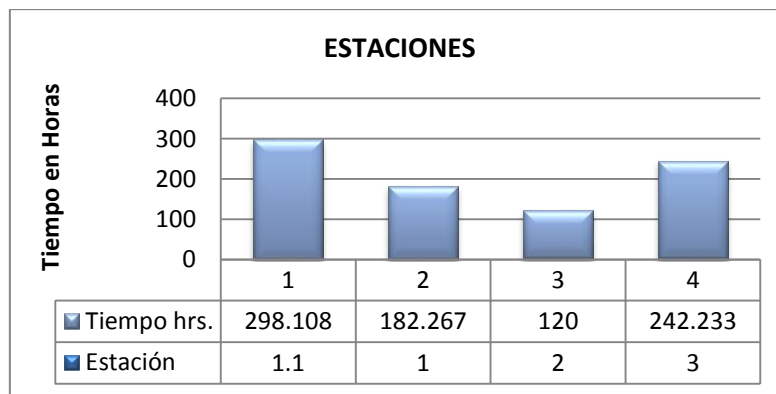
Fuente: Elaboración propia Software QUEST (2014).

1. Para la Estación 2 se necesitan 6 operarios especiales para el proceso de atezado.
2. La lógica general para los operarios es: que el operario al terminar su operación y encontrarse disponible, este debe de ir a otra estación hasta concluir esa actividad.
3. El flujo de material es mediante grúas, en algunos casos es mediante el operario.
4. Solo se simuló la producción de un carro en base a las restricciones, se corrió el modelo obteniendo como resultado un tiempo ciclo de 47,701 minutos que equivale a 795.016 horas igual a 88.3 turnos.



**Resultados y análisis de resultados**

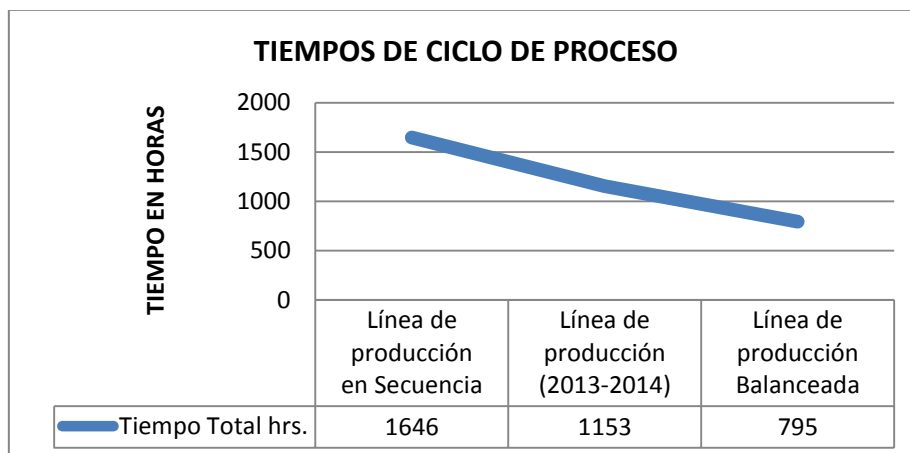
Los resultados que se presentan, se encuentran en un escenario de un proceso balanceado, con una distribución de estaciones eficiente que mejoran el Tiempo Ciclo considerablemente y, que puede usarse como base, para representar múltiples escenarios de acuerdo a futuros contratos, de esta manera se obtuvo para la Estación 1A un tiempo de 298.10 horas, para la estación 1 un tiempo de 182.26 horas, la estación 2 es de 120 horas y para la estación 3, es de 242.23 horas, (véase Gráficas 1 y 2).



**Gráfica 1. Tiempos finales por estación**

Fuente: Elaboración propia (2014).

En la Gráfica 2, se puede observar que la línea de producción en secuencia tiene un tiempo total de 1646 horas, la línea de producción que se realizó en el año 2013 fue de 1153 horas, que comparado con la línea de producción Balanceada en Quest, en donde se obtuvo un total de 795 Hrs, se puede deducir que se redujo el tiempo en un 31% en secuencia y un 51.7%.



**Gráfica 2. Comparación de tiempos de ciclo de proceso.**

Fuente: Elaboración propia (2014).

### Conclusiones

Actualmente las empresas se enfrentan a un mundo globalizado donde el ganador del mercado es el que entrega en tiempos más cortos el producto, sin ver afectada la calidad y costo del mismo, por lo cual con el desarrollo de la línea virtual se propuso una solución óptima a la problemática, así como la reducción del tiempo, además la implementación originará la maximización de la rentabilidad de la fabricación de trenes ligeros, haciendo viable el proyecto para futuros contratos, debido a que se puede interactuar con la simulación virtual, en busca de satisfacer los requisitos de un requerimiento en particular o especial y de tal manera dar una predicción más exacta en el tiempo de entrega, al participar en licitaciones para ganar contratos locales de trenes ligeros, ya que sin duda el tiempo es uno de los principales requerimientos por parte de los Clientes.

### Referencias Bibliográficas

[1] *Uso de DevC++ con Delmia Quest para optimizar simulaciones.* **Pérez, Ricardo Rodríguez, Sánchez, S. Jöns Aguilar y Hernández, Arturo Aguirre.** 47 , Aguascalientes : Conciencia Tecnológica , 2014.

[2] *Tutorial de Simulación Básica utilizando Quest.* **Pérez, Ricardo Rodríguez, y otros, y otros.** 41, Aguascalientes : Conciencia Tecnológica, Enero-Junio de 2011, págs. 28-34.

[3] *Diseño y análisis de sistemas productivos utilizando la optimización mediante simulación basada en internet.* **Urenda, Matías Moris, y otros, y otros.** 1 , Pucon, Chile : Universidad del Bio Bio, 2012, Vol. Año 11, págs. 37-49.

[4] —. **Urenda, Matías Moris, y otros, y otros.** N°1: 37-49, Pucon, Chile : Universidad del Bio Bio, 2012, Vol. Año 11.

[5] *Extracting simulation models from complex industrial real-time systems.* **Andersson, Johan, Huselius, Joel y Norström, Christer.** [ed.] CiteSeerx / School of Information Sciences and Technology / Penn State University. Västerås, Suecia : s.n., 2006.