



# Propuesta de Mejoras para los Procesos Productivos de una Empresa Productora de Gabinetes de Uso Doméstico, en Venezuela

Juan Ignacio Ungredda<sup>1</sup>, César Pérez<sup>2</sup>  
[chucho17692@gmail.com](mailto:chucho17692@gmail.com)<sup>1</sup>, [alfaauriga5@gmail.com](mailto:alfaauriga5@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Industrial. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

<sup>2</sup> Ingeniería Industrial. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

Historia del Artículo  
Recibido 27 de Marzo de 2017  
Aceptado 7 de Julio de 2017  
Disponible online: 14 de Julio de 2017

---

**Resumen:** Este trabajo describe una aplicación de simulación de eventos discretos con el propósito de aumentar la utilización de la capacidad de producción instalada, de una fábrica de gabinetes de uso doméstico, mediante: la reducción de las frecuentes demoras en el proceso productivo por insumos faltantes, incompletos o en mal estado y la variabilidad inherente en los métodos de programación de la producción, lo cual lleva a altos niveles de trabajos en proceso e incumplimiento de las fechas de entrega a los clientes. Las mejoras, algunas de ellas generadas mediante pruebas con técnicas de programación matemática y comprobadas mediante simulación, resultaron en un aumento en la capacidad promedio de 74% como resultado de métodos diferentes de programar el trabajo que reducen la variabilidad en el sistema productivo, sin ser necesario inversiones en equipos o personal adicional.

**Palabras Claves:** Procesos productivos, producción, capacidad de producción.

**Abstract:** This work is an application of discrete event simulation in order to increase the utilization of production capacity in a cabinet factory. There were frequent delays due to incomplete inputs to the process and inadequate production programming methods which caused high levels of work in process and unmet delivery dates. Process improvement was achieved by reducing process variability. Possible improvements were generated with a mathematical programming model and its usefulness was verified by simulating the improved process. Results showed that mean capacity was increased 74% following new production scheduling rules; system variability was reduced, demand was met with no increase in capital investment or workforce.

**Keys Words:** Production, production process, production capacity.

---

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en las operaciones de fabricación y ensamblaje, es frecuente que el cumplimiento de la demanda de los clientes, en cantidad y calidad, se vea influenciada por factores asignables a la variabilidad del sistema. Algunos de ellos son:

- La variabilidad en el tiempo de las operaciones que conforman los procesos.
- Las fallas e interrupciones en los recursos necesarios para las operaciones.
- Variaciones en la disponibilidad de mano de obra, máquinas, equipos y herramientas.
- Retrabajo para resolver aspectos de calidad del producto.
- Productos no estandarizados que requieren recursos adicionales a los programados para los productos estándar.
- La dependencia de las actividades productivas.

Algunas consecuencias son: el incumplimiento de la demanda, operación por debajo de la capacidad del proceso productivo, costos adicionales por retrasos, retrabajo, demoras imprevistas, mayor espacio para el producto en proceso.

La situación descrita anteriormente es la encontrada en una empresa venezolana, para la cual se realizó el siguiente trabajo. Esta empresa se encarga del ensamblaje y fabricación de gabinetes.

Los gabinetes están formados por secciones en las cuales se

ensamblan unidades. Un esquema de un gabinete se muestra en el Gráfico 1 de la Sección 6.

Actualmente, los procesos productivos de la Empresa son:

- Ensamblaje de secciones: se ensamblan las secciones, las cuales están preparadas para recibir las unidades según las especificaciones del cliente.
- Construcción de las unidades: se fabrican las unidades a ser insertadas en las secciones.
- Ensamblaje final: las secciones y las unidades se ensamblan, de manera tal que cuando está lista, se inicia el cableado y la inspección.

Las técnicas más utilizadas para la programación de las operaciones de producción suelen asignar tiempos de holgura para resolver estos problemas, lo cual implica incluir las ineficiencias del proceso en la programación de actividades.

La estimación de esos tiempos de holgura queda al juicio de expertos con experiencia en el proceso productivo. En ocasiones, por su complejidad, se opta por aceptar que el problema tiene dificultad para su análisis y se continúan las operaciones sin llegar a resolverlo; su impacto en costos, incumplimiento con los clientes y operación por debajo de la capacidad, pueden hacer que el proceso no sea competitivo. Para analizar y generar soluciones, se aplicarán principios de Ingeniería Industrial en el área de producción en conjunto con técnicas de simulación de eventos discretos.

II. ANTECEDENTES

Los temas relacionados con el diseño y mejora de procesos productivos son importantes en el ámbito de Ingeniería Industrial. En los últimos 18 años (1997-2014) en el congreso anual de Ingeniería Industrial se han presentado 390 ponencias

Tabla 1. Antecedentes del trabajo  
Fuente: Winter Simulation Conference Archive [1]

Autor	Título	Comentarios
[CITATION Roh98 \t \l 21514 ][2]	“Manufacturing systems and material handling simulation”	Enumera elementos comunes a muchos sistemas de manufactura (relacionados con el producto, los recursos, la demanda y los aspectos a controlar) y justifica el uso de la simulación por la aleatoriedad propia de esos sistemas.
[CITATION Har071 \l 21514 ][3]	“Productivity Improvement in Appliance Manufacturing”	Describe la aplicación de la simulación para la identificación de cuellos de botella en una línea de manufactura de lavavajillas. Los Ingenieros fueron capaces de determinar y verificar una solución, lo cual resultó en un ahorro anual de \$275.000.
[CITATION Par981 \t \l 21514 ][4]	“Simulation and analysis of the Mercedes-Benz all activity vehicle (AAV) production facility ”	Provee una descripción del modelo de simulación para analizar la capacidad de producción de la Mercedes-Benz United States International.
[CITATION Zia14 \l 21514 ][5]	“Simulation of low-volume mixed model assembly lines: modeling aspects and case study”	Consideran el modelado y simulación de líneas de ensamblaje mixtos de bajo volumen de producción. En particular, analizan el proceso de instalación de cabinas en una línea de ensamblaje mediante simulación de eventos discretos.

en el área de aplicaciones de manufactura [1] Mostramos en la Tabla 1, algunos trabajos publicados.

### III. OBJETIVOS

Este trabajo se plantea diseñar una propuesta de mejoras para los procesos productivos de una empresa productora de gabinetes de uso doméstico con el propósito de aumentar la utilización de la capacidad productiva y cumplir con la demanda esperada.

### IV. METODOLOGÍA

El presente trabajo fue realizado, mediante los pasos básicos en un estudio de simulación [6], mostrados a continuación:

1. Comprensión del sistema real
2. Planteamiento claro de los objetivos del estudio.
3. Conceptualización del modelo
4. Recolección de datos.
5. Creación del modelo utilizando la herramienta adecuada.
6. Verificación del programa: ¿refleja realmente el modelo conceptual deseado?
7. Validación del modelo: ¿el modelo representa fielmente el sistema real?
8. Experimentación.
9. Análisis de los resultados de la simulación.
10. Presentación de las conclusiones del estudio. 3 conclusiones a lo sumo
11. Implementación.

### V. COMPRESIÓN DEL SISTEMA REAL

#### 5.1 El Producto

La fábrica en estudio produce muebles compuestos por secciones con unidades insertadas en la misma. El Gráfico 1 representa la apariencia de una sección. La cantidad de unidades en una sección pueden variar, desde una unidad hasta doce.



Gráfico 1. Sección con dos unidades  
Fuente: Elaboración Propia

#### 5.2 El Proceso

Las secciones son ensambladas en dos áreas; celda A y celda G, ambas son capaces de producir cualquier mueble. Cuando una orden se envía a la celda A o G, todo sobre esa orden se produce en esa celda, las celdas actualmente no comparten trabajadores, tareas, equipos, etc.

Las celdas A y G poseen las siguientes áreas.

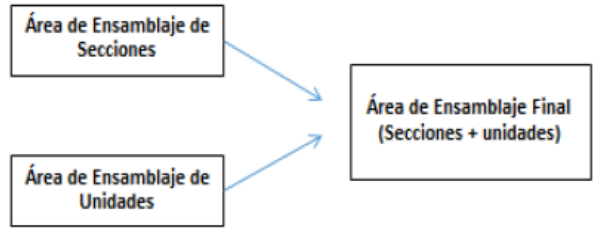


Gráfico 2. Esquema conceptual del ensamble del mueble  
Fuente: Elaboración Propia.

Las áreas de producción presentan lo siguiente: la celda A posee un (1) área de ensamble de secciones, cuatro (4) líneas de producción de unidades y un (2) área de ensamble final. La celda G, presenta un (1) área de ensamble de secciones, una (1) línea de producción de unidades y un (1) área de ensamble final para unir las secciones con las unidades, realizar la operación de cableado e inspección.

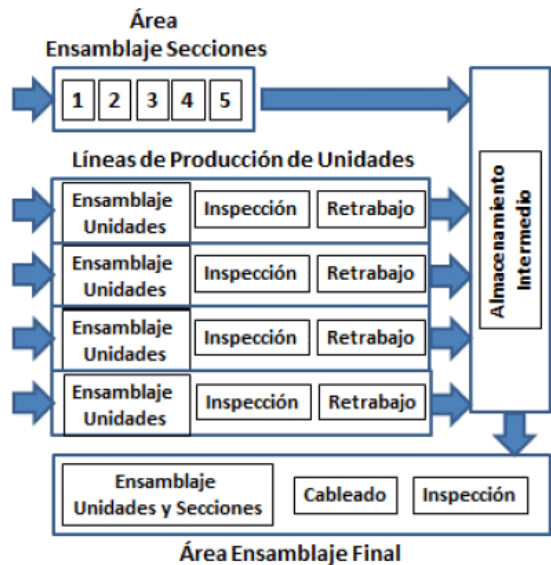


Gráfico 3. Diagrama de planta de celda A  
Fuente: Elaboración Propia

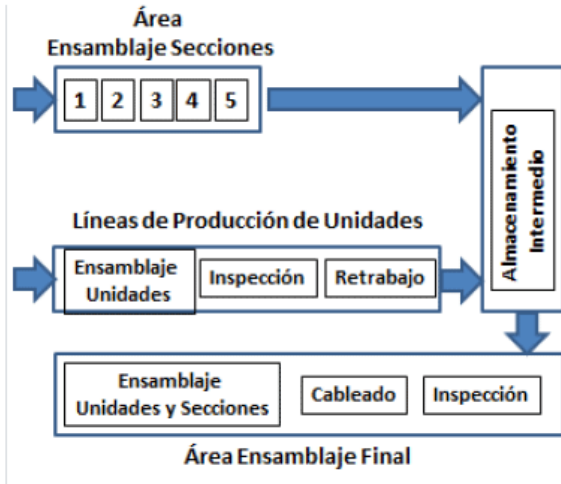


Gráfico 4. Diagrama de planta de celda G  
Fuente: Elaboración Propia

El proceso productivo descrito se modeló utilizando el paquete Arena, versión 14. A continuación mostramos parámetros de interés de los procesos de manufactura y el modelo de simulación.

Tabla 2. Parámetros del modelo  
Fuente: Elaboración Propia

Parámetros del Modelo	
Días de operación al año	252
Horas de operación al día (sin sobre tiempos)	15
Horas de sobretiempo	3
Salario por hora (Bs/h)	46,38
Bonificación por sobre tiempo (Bs/h)	69,58
Precio de venta del producto	9000
Demanda mensual (gabinetes/mes)	1420
Porcentaje de la demanda procesada en la celda A	70%
Porcentaje de la demanda procesada en la celda G	30%
Cantidad de trabajadores por turno	178
Cantidad de turnos	2
Número de replicaciones en el modelo	12

### 5.3 Ensamblaje de secciones

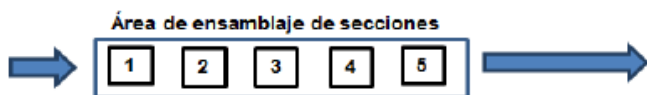


Gráfico 5. Ensamblaje de Secciones  
Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 5 presenta un diagrama conceptual del ensamblaje de secciones, el cual consta de cinco (5) estaciones cuyas actividades son secuenciales, en donde la numeración indica la secuencia a seguir.

Las estaciones uno y dos trabajan con una sección a la vez y presentan un operador en cada estación. La estación 3, posee

dos operadores, los cuales pueden trabajar de forma individual o conjunta para realizar las operaciones para cada sección y la elaboración de "Items". El Ítem es un término utilizado durante la manufactura, que consiste en la agrupación de varias secciones, pudiendo ser en grupos de 2, 3, 4 o 6.



Gráfico 6. Ítem con 3 secciones, mostrando las secciones horizontalmente  
Fuente: Elaboración Propia

En la estación 3, cuando se ensambla un ítem en cualquiera de sus combinaciones (número de secciones) se debe esperar a que llegue todo el conjunto de secciones para completar la agrupación y que continúe el proceso de ensamblaje.

Terminadas las operaciones en la estación 3, los ítems agrupados según se muestran en el Gráfico 6, ingresan a las estaciones 4 y 5 de forma secuencial, para después ser desagrupados y colocados en un área de almacenamiento intermedio, en donde cada sección será ubicada con las unidades correspondientes al pedido.

Antes de la construcción de las secciones, las partes necesarias para su ensamblaje se reúnen y entregan al área de ensamblaje. Si las partes no están disponibles los operadores continuarán con la siguiente orden en la cola, y una vez que las piezas llegan, la orden se coloca al principio de la cola. En ocasiones llegan partes que no corresponden al ensamblaje; en esos casos el operador coloca la sección aparte y ordena la pieza correcta.

### 5.4 Ensamblaje y prueba de unidades



Gráfico 7. Ensamblaje de Unidades  
Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 7 presenta un diagrama conceptual del ensamblaje de unidades, el cual consta de una (1) estación de ensamblaje de unidades, una (1) estación de inspección y una (1) de retrabajo, siendo estas secuenciales.

Para cada sección hay un número específico de unidades que se deben construir. Las secciones pueden poseer de 1 a 12 unidades. Cuando se emite una orden para el ensamblaje de una sección también se emite la orden de ensamblaje de sus correspondientes unidades.

Actualmente, todas las unidades pertenecientes a una sección se manufacturan en la misma línea.

Seguidamente continúa el ensamblaje de las unidades, sometiéndose posteriormente a un control de calidad. Si no pasa la prueba, la unidad es llevada a una estación de retrabajo ubicada al final de la línea.

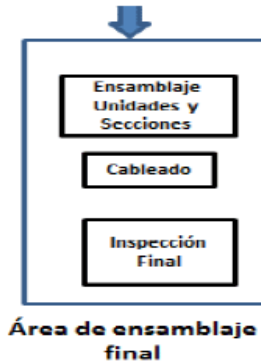
Las unidades tienen varios niveles de complejidad, lo cual está relacionado con el tiempo de procesamiento de las unidades.

Existen cuatro niveles de complejidad con tiempos de procesamiento diferentes para cada estación de trabajo.

Los operarios de la celda A están organizados en 4 equipos divididos entre las 4 líneas. Las estaciones de control de calidad pueden atender a cualquier línea contenida dentro de la misma celda.

Las secciones con sus unidades llegarán al ensamblaje final, cuando todas las unidades están completas y han pasado el control de calidad.

### 5.5 Ensamblaje final



**Gráfico 8. Diagrama conceptual del ensamblaje final**  
Fuente: *Elaboración Propia*

El Gráfico 8 presenta un diagrama del proceso de ensamblaje final, el cual consta de una (1) estación de ensamblaje de secciones y unidades, una (1) estación de cableado y una (1) inspección final.

En caso de excederse la capacidad de trabajo en proceso de la estación de ensamblaje final, las operaciones en las líneas de ensamblaje de secciones se detendrán hasta bajar el nivel de inventario en proceso.

Luego del ensamblaje de unidades y secciones, se insertan las puertas y un cableado final los cuales son realizados por operarios expertos para luego pasar a un control de calidad final.

### VI. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

En el Gráfico 9 se presenta la conceptualización del proceso de manufactura de gabinetes. Estando representados los procesos principales y las relaciones lógicas entre ellos.

La simbología utilizada para el diagrama se muestra en la Tabla 3 y en el Gráfico 9 se muestra la conceptualización del modelo de manufactura, mostrando las principales áreas del proceso resaltadas en recuadros de color rojo.

**Tabla 3. Leyenda Conceptualización del Modelo**  
Fuente: *Elaboración Propia*

SÍMBOLO	CONCEPTO
	Decisión o alternativa. Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternos
	Retraso. Material esperando a ser procesado
	Operación. Procesos que agregan valor al producto
	Inspección. Examinar especificaciones e información
	Terminal. Indica el inicio o la terminación del flujo

### VII. RECOLECCIÓN DE DATOS

La fuente de los datos fueron registros históricos de la empresa comprendidos durante el periodo Julio 2014 hasta Junio 2015.

Las entrevistas no estructuradas fueron llevadas a cabo con la Gerencia de Operaciones de la planta.

### VIII. VALIDACIÓN

Para validar el modelo, se aplicó una prueba estadística para dos muestras independientes con varianzas desconocidas. En este estudio se usó como medida de desempeño en la validación del modelo, la cantidad de gabinetes producidos en un mes.

A continuación se plantea la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0:  $\mu_x = \mu_y$  (La media de los datos reales observados es igual a la media de los datos del modelo de simulación).

H1:  $\mu_x \neq \mu_y$  (La media de los datos reales observados es diferente a la media de los datos del modelo de simulación).

Para el contraste de hipótesis se utilizaron los resultados de 12 replicaciones del modelo de simulación que corresponden a un año, fijando un nivel de confianza del 5%. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

**Tabla 4. Validación del modelo mediante el contraste de una prueba t de dos muestra**  
Fuente: *Elaboración Propia*

	N	Media	Desv.Est.
Simulación	12	1329.6	69.8
Real	12	1365.9	66.5
p valor		0.206	

No se rechaza H0. No existen evidencias muestrales que permitan concluir que la media de los datos reales observados es diferente a la media de los datos del modelo de simulación. Por lo cual, el modelo ha sido validado.

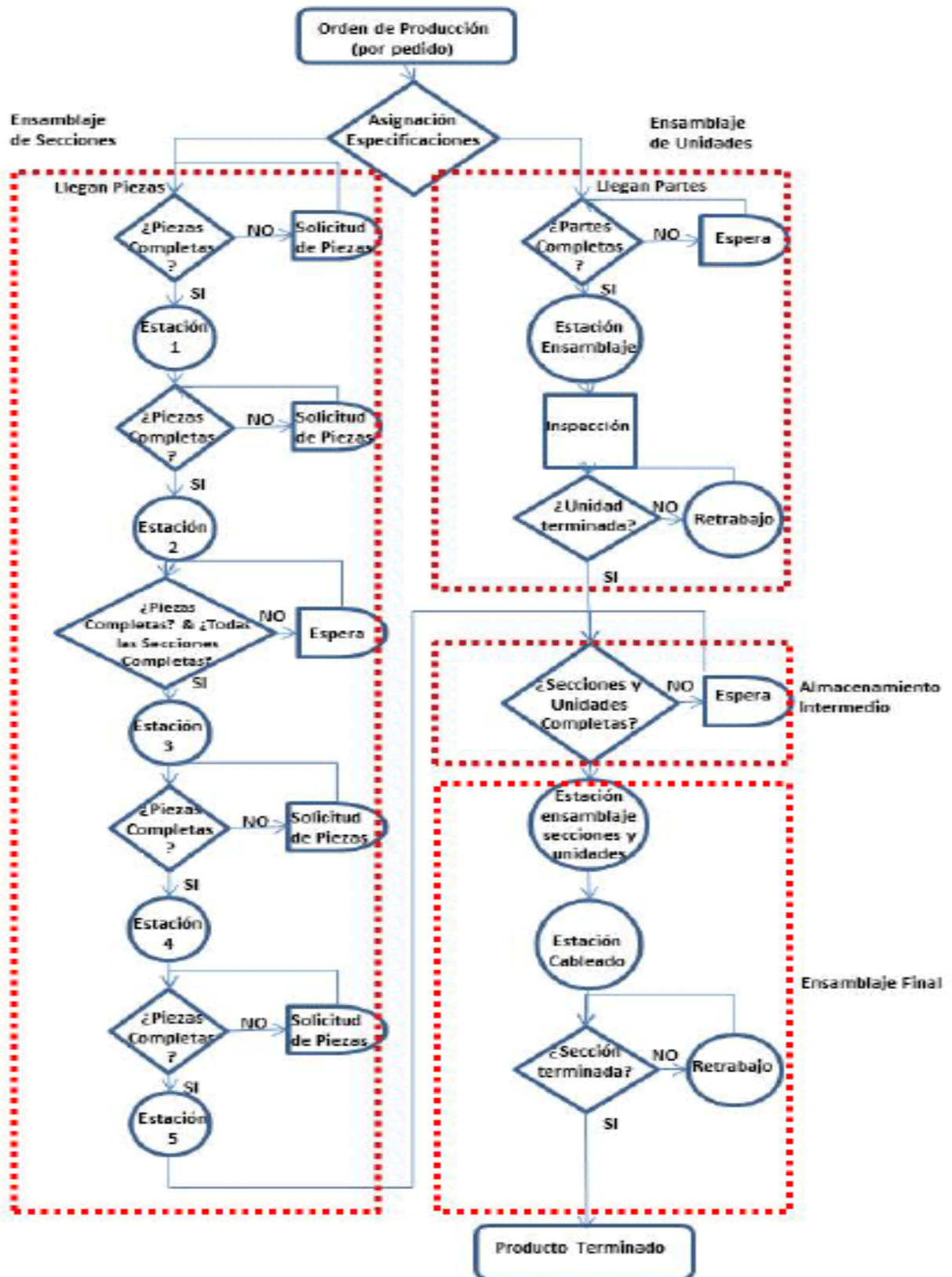


Gráfico 9. Conceptualización del Proceso de Manufactura de Gabinetes  
Fuente: Elaboración Propia

**EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS**

El estudio se dividió en dos etapas. Cada una contiene una fase de experimentación y análisis de resultados que se presentan en forma conjunta para una mayor comprensión. Cada etapa está dirigida a responder las siguientes preguntas:

ETAPA 1: ¿Es capaz, el sistema actual, de cumplir con la demanda esperada de 1420 gabinetes al mes? En caso de ser negativa la respuesta: ¿Qué factores tienen mayor influencia en que no se alcance esa meta?

ETAPA 2: ¿Cuáles son las causas, en cada celda de manufactura, que impiden el cumplimiento de la meta de producción? ¿Están las líneas de producción balanceadas? ¿cómo es la distribución del tiempo total del ciclo productivo por cada actividad en cada celda?

Los resultados mostrados en la sección 9 (Experimentación y Análisis) y la sección 10 (Diseño de Propuestas) se obtuvieron mediante corridas en el Software Arena.

**9.1 ETAPA 1**

- Identificación de las causas

Se realizaron entrevistas no estructuradas al personal de empresa. La información obtenida fue utilizada para identificar las causas de la insatisfacción de la demanda, las cuales se muestran en la Tabla 5. En donde el nivel I representa las principales causas, de las cuales se dividen en subcausas, siendo representado en el nivel II de la tabla.

Actualmente la empresa estima una demanda promedio de 1420 gabinetes al mes. La producción de la empresa es medida en secciones terminadas con unidades insertadas, producidas en un mes. Los datos históricos de la empresa están comprendidos durante el periodo Julio 2014 hasta Junio 2015, Se muestran en la Tabla 6.

*Tabla 5. Factores que influyen en la producción  
Fuente: Elaboración Propia*

AREA	NIVEL I	NIVEL II
<b>Ensamblaje Final</b>	Los operarios no usan equipo de seguridad personal	-----
	Indicaciones visuales inexistentes para las operaciones	-----
	Deficiente utilización de los operarios	-----
<b>Almacenamiento Intermedio</b>	Identificación inadecuada del producto	-----
	Estanterías en mal estado	-----
	Alto nivel de trabajo en proceso	-----
<b>Ensamblaje de Secciones</b>	Mala utilización del espacio	Áreas no delimitadas visualmente
	Área de trabajo desordenada	Áreas no delimitadas visualmente
	Deficiente utilización de los operarios	-----
	Los operarios no usan equipo de seguridad personal	-----
	Elevados tiempos por piezas faltantes	-----
	Herramientas erróneas	Dificultad de adquisición de insumos
<b>Ensamblaje de Unidades</b>	Los operarios no usan equipo de seguridad personal	-----
	Herramientas erróneas	Dificultad de adquisición de insumos
	Elevados tiempos por piezas faltantes	-----
	Deficiente utilización de los operarios (celda G)	-----
	Área de trabajo desordenada	Áreas no delimitadas visualmente
	Alto nivel de trabajo en proceso	-----
	Alta utilización de los operarios (celda A)	-----

Tabla 6. Producción Mensual de gabinetes terminados

Fuente: Elaboración Propia

Fecha	Producción (secciones/mes)
jul-14	1237
ago-14	1240
sep-14	1228
oct-14	1192
nov-14	1374
dic-14	1335
ene-15	1264
feb-15	1362
mar-15	1364
abr-15	1169
may-15	1340
jun-15	1205
<b>Promedio</b>	<b>1276</b>
<b>Desv.estándar</b>	<b>75</b>

Para conocer si los valores observados de producción son capaces de cubrir la demanda se realizó el siguiente contraste de hipótesis: la hipótesis nula (H0) secciones producidas por el proceso es capaz de superar la demanda (1420 secciones/mes), en contraste con la hipótesis alterna (H1) la capacidad del proceso es inferior a la demanda (1420 secciones/mes).

Tabla 7. Resultados del contraste de hipótesis para una prueba T de una muestra. capacidad del proceso actual

Fuente: Elaboración Propia.

	N	Media	Desv.Est.
<b>Secciones</b>	11	1269.6	74.6
<b>p-valor</b>		0.000	

El p-valor de la prueba es 0.000 lo cual indica que debe rechazarse la hipótesis nula a un nivel de significación del 5%, que demuestra que la producción es inferior a la demanda promedio, siendo el sistema incapaz de satisfacer la demanda.

Con el propósito de explicar las causas por las cuales el sistema no es capaz de satisfacer la demanda, se procedió a cuantificar los tiempos de cada uno de los procesos en la celda A y la celda G utilizando el modelo de simulación.

9.2 ETAPA II

- Composición de los tiempos de proceso en la celda A

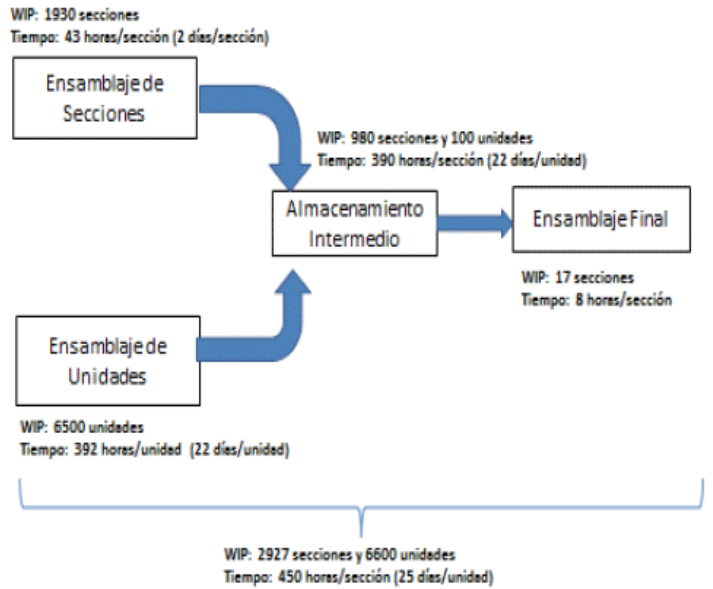


Gráfico 10. Diagrama Conceptual del tiempo de ciclo y el trabajo en proceso (WIP: Work in process), celda A

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 10 se muestra el tiempo del ciclo de una sección y el trabajo en proceso (WIP, por sus iniciales en inglés: “Work in Process”) en la celda A. En promedio se requiere 25 días de trabajo para ensamblar una sección con todas las unidades insertadas. El trabajo en proceso promedio es de 2927 secciones y 6600 unidades, lo cual al ser comparado con la demanda mensual promedio, representa alrededor de 2 meses

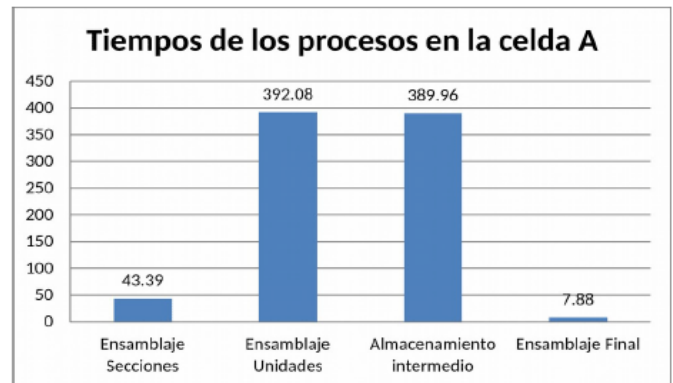


Gráfico 11. Tiempos promedio en de los procesos en la celda A

Fuente: Elaboración Propia

de inventario.

El Gráfico 11, muestra los tiempos promedio para cada proceso en la celda A. El ensamblaje de unidades y el almacenamiento intermedio toman tiempos mucho mayores que el ensamblaje de secciones y el ensamblaje final. Como el almacenamiento intermedio se encuentra precedido por el ensamblaje de secciones y el ensamblaje de unidades, se puede formular la siguiente interrogante: ¿Cuál de los procesos precedentes presenta un mayor impacto en el almacenamiento intermedio?



La interrogante anterior se puede resolver al observar los coeficientes de correlación entre los tiempos promedio requeridos en los tres procesos (ensamblaje de secciones, ensamblaje de unidades y el almacenamiento intermedio) La tabla 8 muestra esos coeficientes.

Tabla 8. Coeficientes de Correlación para ensamblaje de secciones, unidades y almacenamiento intermedio, celda A

Fuente: Elaboración Propia

	Ensamblaje de Secciones	Ensamblaje de Unidades	Almacenamiento Intermedio
Ensamblaje de Secciones	1.000		
Ensamblaje de Unidades	0.164	1.000	
Almacenamiento Intermedio	0.227	0.979	1.000

La tabla 8 muestra que el almacenamiento intermedio y el ensamblaje de unidades se encuentran correlacionados positivamente ( $\rho = 0.979$ ), lo cual significa que a medida que aumenta el tiempo promedio de ensamblaje de unidades, el tiempo en el almacenamiento intermedio aumenta. Sin embargo, el almacenamiento de secciones y almacenamiento intermedio presentan una correlación débil ( $\rho=0.227$ ). Un tiempo alto en la actividad el ensamblaje de unidades, combinado con un coeficiente de correlación bajo de esa actividad con la de ensamblaje de secciones es una indicación para orientar las estrategias en la reducción en el tiempo de ensamblaje de unidades.

Se plantea, ahora, la pregunta: ¿Cuáles serían las principales componentes del tiempo en los distintos procesos de ensamblaje en la celda A?

- Proceso de ensamblaje de secciones

A continuación se muestra un Diagrama de Pareto mostrando los tiempos promedios en horas para los procesos dentro del ensamblaje de secciones. En donde “demora” abarca el tiempo destinado para realizar y adquirir los pedidos por piezas o herramientas erróneas y “cola” abarca el tiempo de espera antes de acceder a una estación de trabajo.

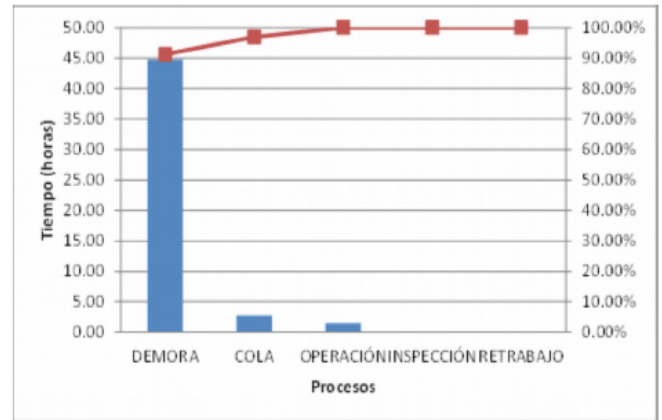


Gráfico 12. Descomposición del tiempo total del área de ensamblaje de secciones, celda A.

Fuente: Elaboración Propia

Es posible evidenciar que las demoras superan el 80% del tiempo del ciclo de la línea, representando alrededor de 45 horas.

Las altas demoras por concepto de piezas faltantes pueden impactar las utilizaciones de los recursos, siendo una posible causa que explique los tiempos no productivos. Por lo tanto, se muestran a continuación las estadísticas referentes a la utilización de los recursos del proceso de ensamblaje de secciones.

Tabla 9. Cantidad y utilización de los recursos en las operaciones de ensamblaje de secciones

Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios Estación 1	1	41%	37%	45%
Operarios Estación 2	1	36%	33%	39%
Operarios Estación 3	2	22%	21%	23%
Operarios Estación 4	1	21%	19%	23%
Operarios Estación 5	1	68%	64%	72%

La tabla 9 muestra utilizaciones que concuerdan con los bajos tiempos de espera en cola obtenidos anteriormente.

- Proceso de ensamblaje de unidades Los gráficos y tablas mostrados a continuación pertenecen a la línea 1 de ensamblaje de unidades, la cual presenta las mismas estadísticas que las otras líneas.

A continuación se muestra un Diagrama de Pareto mostrando los tiempos promedios en horas para los procesos dentro del ensamblaje de unidades.

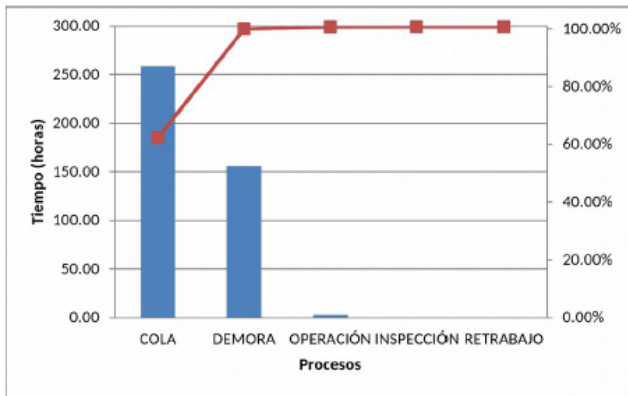


Gráfico 13. Descomposición del tiempo total del área de ensamblaje de unidades  
Fuente: Elaboración Propia

En el proceso de ensamblaje, las unidades presentan el mayor porcentaje de tiempo en colas y demoras, representando entre los dos procesos cerca del 100% del tiempo del ciclo, lo cual equivale a 400 horas o 23 días dedicados a esperas en colas o demoras por insumos faltantes.

A continuación se muestran las estadísticas referentes a la utilización de los recursos del proceso de ensamblaje de unidades.

Tabla 10. Cantidad y Utilización de los recursos en las operaciones de ensamblaje de unidades de la línea 1  
Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios estación ensamblaje unidades	9	97%	92%	100%
Operarios inspección	3	23%	22%	24%
Operarios retrabajo	1	9%	8%	10%

El porcentaje de utilización en el proceso de ensamblaje de unidades es cercano al 100%, lo cual concuerda con los tiempos elevados de espera en cola para ésta operación (alrededor de 20 días de espera en cola, en promedio).

Una posible causa para las altas utilizations, es una asignación inadecuada de las unidades con distintos nivel de complejidad a cada línea de ensamblaje.

- Almacenamiento Intermedio

La Tabla 11 muestra la cantidad de secciones y tiempo en el área de almacenamiento intermedio.

Tabla 11. Tiempo de ciclo y cantidad de secciones en e Almacenamiento Intermedio, celda A.  
Fuente: Elaboración Propia

Unidade de Medición	Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
		Límite Inferior	Límite Superior
Tiempo (horas)	389.96	311.16	468.76
Cantidad (secciones)	972	774	1,170

Esto indica un desbalanceo entre las líneas de ensamblaje de unidades y la línea de ensamblaje de secciones, siendo necesario mejorar el flujo de materiales a través de la celda.

Las líneas de ensamblaje de secciones y unidades realizan las revisiones y pedidos de piezas faltantes de forma independiente, por lo cual, las órdenes no llegan al mismo tiempo a los procesos de ensamblaje. Por lo tanto, se puede cuantificar la posibilidad de realizar los pedidos por piezas faltantes simultáneamente para los procesos de ensamblaje de unidades y secciones, previamente a cualquier operación.

- Proceso de ensamblaje final

Los gráficos y tablas mostrados a continuación pertenecen a la línea 1 de ensamblaje final, la cual presenta las mismas estadísticas que la otra líneas.

A continuación se muestran los tiempos promedios en horas para cada proceso en el gráfico siguiente.

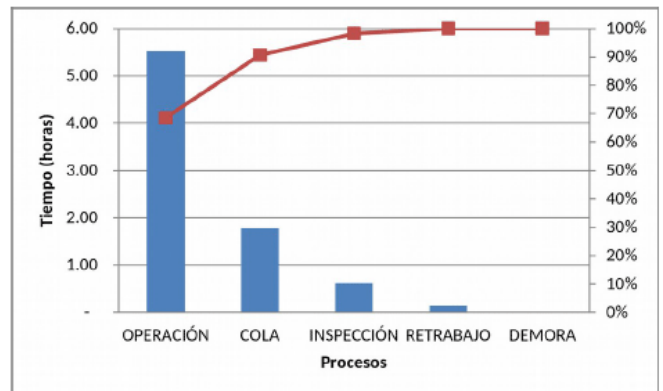


Gráfico 14. Descomposición del tiempo total del ensamblaje final, para la línea 1  
Fuente: Elaboración Propia

El tiempo promedio en cola para la línea 1 en el ensamblaje final representa sólo 22%. El resto del tiempo total se dedica principalmente a procesos que agregan valor. Por lo tanto, los tiempos de espera en cola son comparativamente reducidos, es de esperar bajas o adecuadas utilizations de los recursos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Cantidad y Utilización de los operarios en la línea 1 de ensamblaje final  
Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios ensamblaje de unidades y secciones	5	76%	64%	88%
Operarios cableado	8	24%	20%	28%
Operarios inspección	2	32%	27%	37%
Operarios retrabajo	2	12%	10%	14%

Los operarios que presentan una mayor utilización son aquellos dedicados al ensamblaje de secciones y unidades; el resto de los recursos presentan menores utilizations y más de un operario en la estación de trabajo. Para balancear las utilizations de los operarios, es posible reubicar operarios a través de la línea.

- Composición de los tiempos de proceso en la celda G

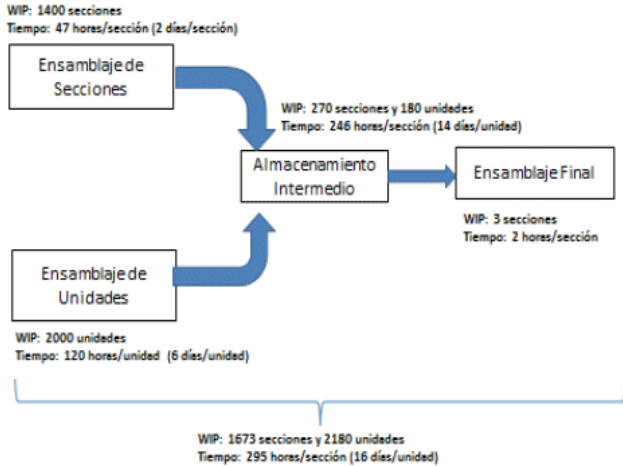


Gráfico 15. Diagrama Conceptual del tiempo de ciclo y el trabajo en proceso (WIP), celda G

En el gráfico 15 se muestra el tiempo del ciclo de una sección y el trabajo en proceso (WIP, por sus iniciales en inglés: “Work in Process”) en la celda G, representando en promedio alrededor de 16 días la realización de una sección con todas las unidades insertadas y un trabajo en proceso promedio de 1675 secciones y 2180 unidades. Lo cual al ser comparado con la Demanda mensual promedio, representa alrededor de 1 mes de inventario.

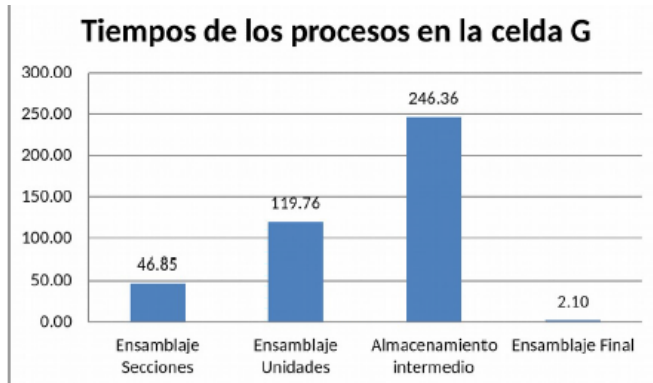


Gráfico 16. Tiempos promedio de en la celda G  
Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 16, los mayores tiempos están representados por el ensamblaje de unidades y el almacenamiento intermedio. El almacenamiento intermedio se encuentra precedido por el ensamblaje de secciones y el ensamblaje de unidades, por lo cual, podemos formular la siguiente interrogante ¿Cuál de los procesos precedentes presenta un mayor impacto en el almacenamiento intermedio?.

La interrogante anterior se puede resolver a través de la siguiente tabla, la cual muestra los coeficientes de correlación entre los tres procesos (ensamblaje de secciones, ensamblaje de unidades y el almacenamiento intermedio) mediante los tiempos promedios en esos procesos a través de 12 replicaciones.

Tabla 13. Coeficientes de Correlación para ensamblaje de secciones, unidades y almacenamiento intermedio, celda G

Fuente: Elaboración Propia

	Ensamblaje de Secciones	Ensamblaje de Unidades	Almacenamiento Intermedio
Ensamblaje de Secciones	1.000		
Ensamblaje de Unidades	0.600	1.000	
Almacenamiento Intermedio	0.890	0.610	1.000

La Tabla 13 muestra que el almacenamiento intermedio y el ensamblaje de unidades se encuentran correlacionados positivamente ( $\rho = 0.89$ ), lo cual significa que a medida que aumenta el tiempo promedio de ensamblaje de unidades, el tiempo en el almacenamiento intermedio aumenta. Sin embargo, el almacenamiento de secciones y almacenamiento intermedio no presentan una correlación tan fuerte ( $\rho=0.61$ ). Siendo necesario para reducir el tiempo de ciclo en la celda G, enfocar las estrategias en la reducción en el tiempo de ensamblaje de unidades.

Una vez realizado el análisis anterior ¿cómo se descompone el tiempo total en los distintos procesos de ensamblaje en la celda G?

- Proceso de ensamblaje de secciones

A continuación se muestra un Diagrama de Pareto mostrando los tiempos promedios en horas para los procesos dentro del ensamblaje de secciones.

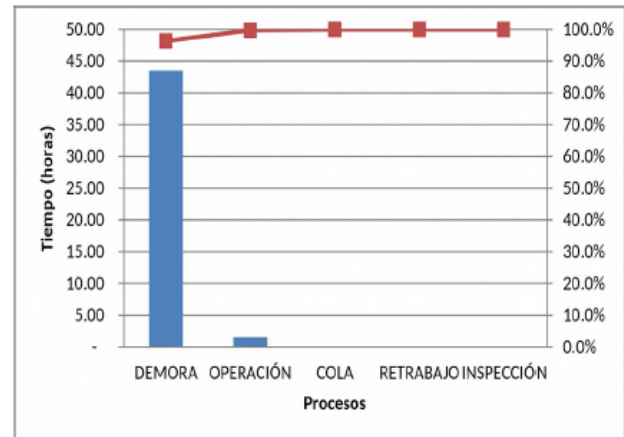


Gráfico 17. Descomposición del tiempo total del área de ensamblaje de secciones, celda G  
Fuente: Elaboración Propia

Es posible evidenciar que las demoras superan el 96% del tiempo del ciclo de la línea, representando alrededor de 45 horas.

A continuación se representan las estadísticas referentes a la utilización de los recursos del proceso de ensamblaje de secciones.

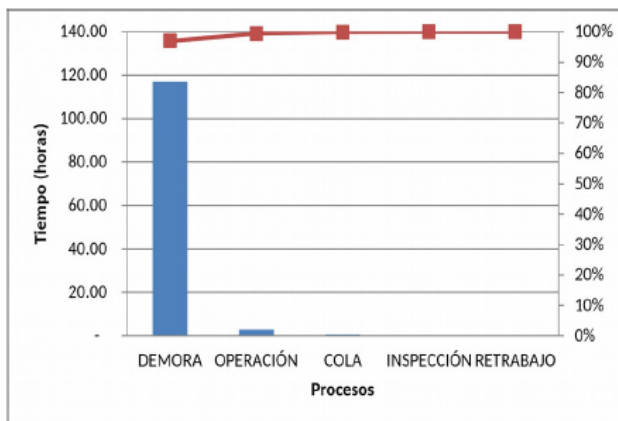
**Tabla 14. Cantidad y Utilización de los recursos en las operaciones de ensamblaje de secciones, celda G**  
Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios Estación 1	1	17%	16%	18%
Operarios Estación 2	1	15%	14%	16%
Operarios Estación 3	2	9%	0%	18%
Operarios Estación 4	1	9%	0%	18%
Operarios Estación 5	1	29%	0%	58%

La tabla anterior muestra utilizaciones que concuerdan con los bajos tiempos de espera en cola obtenidos anteriormente.

- Proceso de ensamblaje de unidades

A continuación se muestra un Diagrama de Pareto mostrando los tiempos promedios en horas para los procesos dentro del ensamblaje de unidades.



**Gráfico 18. Descomposición del tiempo total del área de ensamblaje de unidades, celda G**  
Fuente: Elaboración Propia

En el proceso de ensamblaje de unidades se observa la mayor cantidad de tiempo en demoras, representando el 97% del tiempo del ciclo, lo cual equivale a 117 horas o 7 días dedicados a demoras por insumos faltantes.

A continuación se muestran las estadísticas referentes a la utilización de los recursos del proceso de ensamblaje de unidades.

**Tabla 15. Cantidad y Utilización de los recursos en las operaciones de ensamblaje de unidades, celda G**

Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios estación ensamblaje de unidades	19	65%	56%	74%
Operarios Inspección	2	68%	59%	77%
Operarios retrabajo	1	17%	15%	19%

Los operarios en la Tabla 15 presentan potencial para aumentar su utilización.

- Almacenamiento Intermedio

La Tabla 16 muestra la cantidad de secciones y tiempo en el área de almacenamiento intermedio.

**Tabla 16. Tiempo de ciclo y cantidad de unidades en el Almacenamiento Intermedio, celda G**  
Fuente: Elaboración Propia

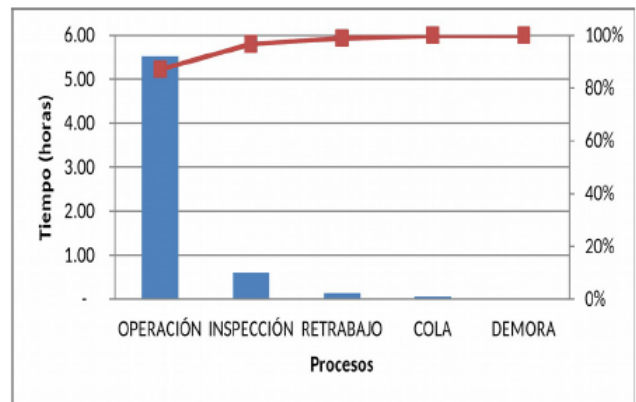
Unidade de Medición	Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
		Límite Inferior	Límite Superior
Tiempo (horas)	246.36	223.30	269.42
Cantidad (secciones)	268.00	243.00	293.00

Esto indica un desbalanceo entre las líneas de ensamblaje de unidades y la línea de ensamblaje de secciones, siendo necesario mejorar el flujo de materiales a través de la celda.

Las líneas de ensamblaje de secciones y unidades realizan las revisiones y pedidos de piezas faltantes de forma independiente, por lo cual, las órdenes no llegan al mismo tiempo a los procesos de ensamblaje. Por lo tanto, se puede cuantificar la posibilidad de realizar los pedidos por piezas faltantes simultáneamente para los procesos de ensamblaje de unidades y secciones, previamente a cualquier operación.

- Proceso de ensamblaje final

A continuación se muestran los tiempos promedios en horas para cada proceso en el gráfico siguiente.



**Gráfico 19. Descomposición del tiempo total del área de ensamblaje final, celda G**  
Fuente: Elaboración Propia

Los procesos dedicados principalmente a agregar valor (operación) representan más de 80%. Por lo tanto, los tiempos de espera en cola y demoras son reducidos, siendo de esperar bajas o adecuadas utilizaciones de los recursos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 17. Cantidad y Utilización de los operarios en ensamblaje final

Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Operarios ensamblaje de unidades y secciones	5	34%	28%	40%
Operarios cableado	8	1%	1%	1%
Operarios inspección	2	10%	0%	20%
Operarios retrabajo	2	3%	1%	5%

Los operarios que presentan una mayor utilización son aquellos dedicados al ensamblaje de secciones y unidades; el resto de los recursos presentan menores utilizaciones y más de un operario en la estación de trabajo. Para balancear las utilizaciones de los operarios, es posible reubicar operarios a través de la línea.

IX. DISEÑO DE PROPUESTAS

Las propuestas a desarrollar, tienen la finalidad de mejorar la situación de los procesos con la mayor cantidad de tiempos que no están dedicados a agregarle valor al producto y reducen la capacidad de producción del sistema.

Por ello, se deben reducir: a) las demoras por concepto de piezas faltantes, herramientas y cambios de ingeniería y b) los cuellos de botella observados en la línea de ensamblaje de unidades en la celda A.

Tabla 18. Tabla resumen de propuestas a ser cuantificadas mediante los modelos de simulación

Fuente: Elaboración Propia

Número	Propuestas	Soluciones Esperadas
1	Transferencia de algunas demoras al almacén de materias primas	Disminución en los tiempos de ciclo
2	Disminución en las utilizaciones en las líneas de ensamblaje de unidades	1. Disminución en los tiempos de ciclo 2. Aumento en la capacidad de
3	Reubicación de personal en la línea	Aumento en la capacidad de produc

Estas propuestas están dirigidas al mejor aprovechamiento de los recursos actuales.

10.1 Propuesta 1: Transferencia de algunas demoras en el proceso productivo al almacén de materias primas.

Actualmente los procesos de ensamblaje de secciones y ensamblaje de unidades, presentan las siguientes demoras antes de llegar a las respectivas operaciones, las cuales, luego de ser discutidas con la empresa, es posible clasificarlas de la forma siguiente:

Demoras transferibles: Son aquellas que pueden ser transferidas al almacén de Materias Primas.

Demoras no transferibles: Son aquellas que no pueden ser transferidas al almacén de Materias Primas y no presentarán modificaciones en las propuestas.

Se muestra a continuación un diagrama con las demoras en el proceso de Ensamblaje de Secciones.

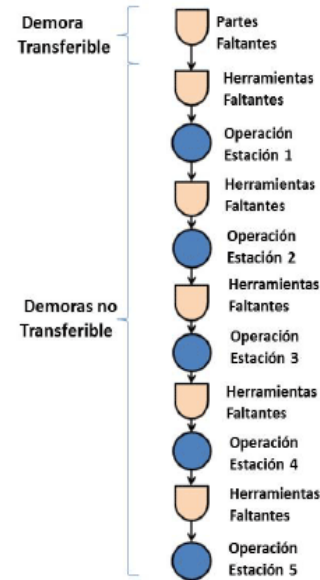


Gráfico 20. Diagrama de Procesos para el Ensamblaje de Secciones con la clasificación de las Demoras

Fuente: Elaboración Propia

La demora por concepto de partes faltantes, representa la única demora transferible al almacén de materias primas, ya que es una responsabilidad que pueden asumir.

Se muestra a continuación una tabla con las demoras en el proceso de Ensamblaje de Unidades.

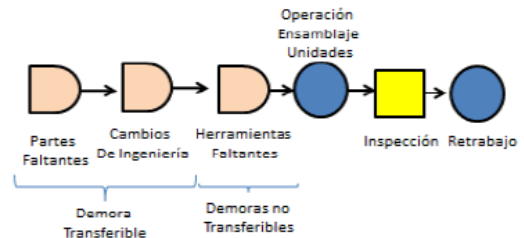
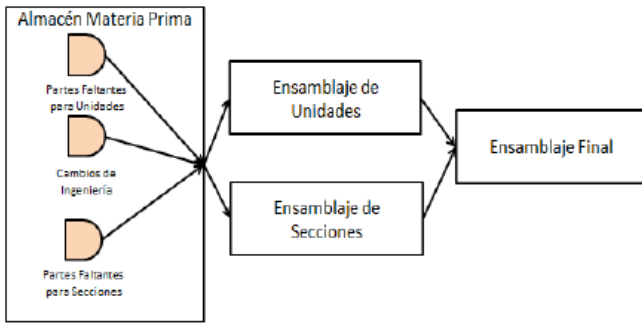


Gráfico 21. Diagrama de Procesos para el Ensamblaje de Unidades con la clasificación de las Demoras

Fuente: Elaboración Propia

La demora por concepto de partes faltantes y cambios de Ingeniería, representa la única demora transferible al almacén de materias primas, ya que es una responsabilidad que pueden asumir con facilidad.

Los procesos de demora normalmente ocurren de forma secuencial, por lo tanto el tiempo total en Demoras es aditivo, lo cual, es posible cambiar al modelo que se muestra en el Gráfico 21.



**Gráfico 22. Diagrama con demoras transferidas al almacén de materias primas**  
Fuente: Elaboración Propia

Al probar el nuevo esquema representado en el Gráfico 22 en el modelo de simulación, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 19. Capacidad de Producción en secciones por mes, para cada replicación de la simulación. Propuesta 1**  
Fuente: Elaboración Propia

Replicación	Capacidad del proceso
1	1071
2	1211
3	1215
4	1213
5	1243
6	1233
7	1227
8	1280
9	1241
10	1285
11	1247
12	1188
<b>Promedio</b>	<b>1221</b>
<b>Desv.estándar</b>	<b>55</b>

Al comparar estos resultados con la demanda (1420 secciones/mes), mediante un contraste de hipótesis, en donde H0: La producción promedio mensual del modelo de simulación (1221 secciones/mes) es superior a la demanda. Obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 20. Resultados del contraste de hipótesis para una prueba T de una muestra. Propuesta 1**  
Fuente: Elaboración Propia

	N	Media	Desv.Est.
Capacidad(Secciones)	12	1221.2	54.9
p-valor		0.000	

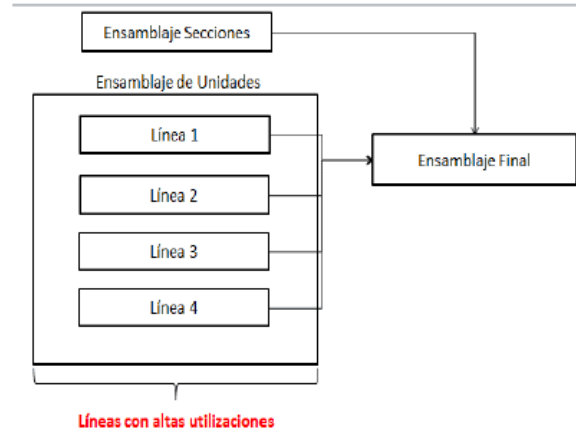
Con un nivel de confianza del 5%, la capacidad de producción no supera la Demanda pronosticada.

Una explicación por la cual la producción no supera la demanda, es que los cuellos de botella no cambiaron, por lo cual el sistema presenta la misma capacidad. Siendo los cuellos de botella actuales, los mostrados a continuación.

**Tabla 21. Utilización promedio y tiempos en cola promedio, en horas, de los cuellos de botella en la propuesta.**  
Fuente: Elaboración Propia

Celda	Operarios	Utilización Promedio	Tiempo en Cola promedio
A	Ensamblaje de Unidades, línea 1	99%	263.00
	Ensamblaje de Unidades, línea 2	99%	306.00
	Ensamblaje de Unidades, línea 3	99%	266.00
	Ensamblaje de Unidades, línea 4	99%	278.00

Las líneas de producción de unidades con los cuellos de botella mencionados se muestran en el siguiente diagrama:



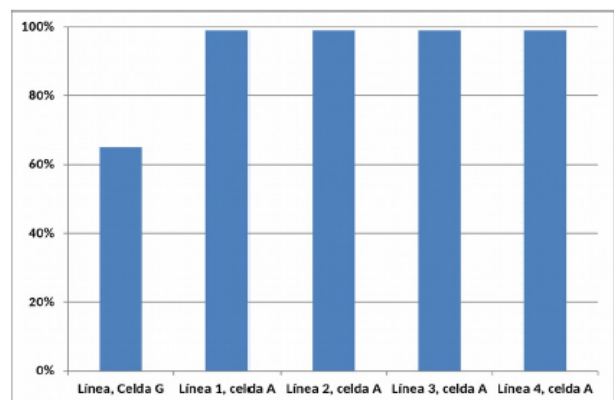
**Gráfico 23. Diagrama mostrando las líneas que presentan operarios con altas utilizations**  
Fuente: Elaboración Propia

10.2 Propuesta 2: Disminución en las utilizations en las líneas de Ensamblaje de Unidades

La propuesta 2 consiste en nivelar las utilizations de las líneas, (4) celda A y (1) celda G, mediante la reasignación de la cantidad de unidades de distintos niveles de complejidad a diferentes líneas de procesamiento de Unidades.

Tabla 22. Utilizations promedio de las estaciones de ensamblaje de unidades

Fuente: Elaboración Propia



El planteamiento se puede representar a través de programación lineal. El Gráfico 24 muestra un diagrama de flujo en redes[7].

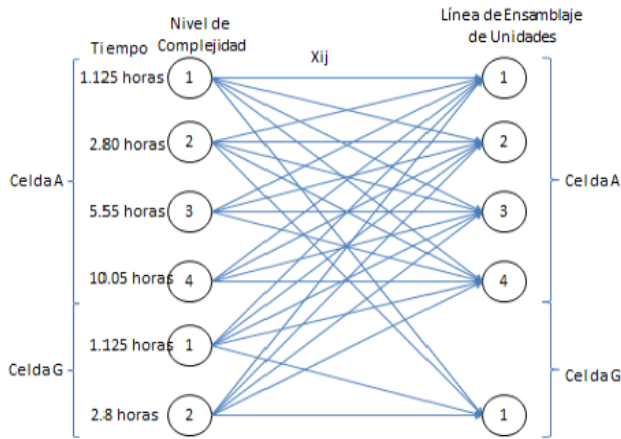


Gráfico 24. Diagrama de redes  
Fuente: Elaboración Propia

Del lado izquierdo se encuentra el tiempo esperado de procesamiento de una unidad según su nivel de complejidad, por ejemplo: para el nivel de complejidad 3, en la celda A, el tiempo de procesamiento es 5.55 horas, la cual se puede procesar en cualquiera de las líneas 1,2,3,4 de la celda A o la línea de la celda G, siendo representado por las líneas que unen los nodos.

Las variables de decisión estarían conformadas por:

$X_{ij}$ : Porcentaje de tiempo de procesamiento dedicado a las unidades de nivel de complejidad  $i$ , asignados a la línea ensamblaje  $j$ . Representado en la siguiente tabla.

Tabla 23. Variables de decisión en la matriz de asignación

Fuente: Elaboración Propia

		Líneas de ensamblaje					
		Celda A				Celda G	
		1	2	3	4	1	
Nivel de Complejidad	Celda A	1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$
		2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$
		3	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	No aplica
		4	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	No aplica
	Celda G	1	$X_{51}$	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$
		2	$X_{61}$	$X_{62}$	$X_{63}$	$X_{64}$	$X_{65}$

La función objetivo consiste en minimizar las desviaciones (se encuentran en el balanceo de los tiempos de cada línea por operador, siendo el último conjunto de restricciones)

Tabla 24. Tabla con el Tiempo Promedio para completar una orden (sección)

Fuente: Elaboración Propia

Celda	Nivel de Complejidad	Tiempo promedio (Horas/Unidad)	Número promedio de unidades por sección	Distribución porcentajes para los niveles de complejidad	Tiempo promedio (horas/sección)
A	1	1.125	4	30%	1.350
	2	2.800	4	53%	5.940
	3	5.550	4	14%	3.110
	4	10.050	4	3%	1.210
G	1	1.125	4	45%	2.030
	2	2.800	4	55%	6.160

$$\text{Minimizar: } \theta_T = \begin{matrix} -\zeta \\ +\zeta + \theta_5^i \\ -\zeta + \theta_5^i \\ +\zeta + \theta_4^i \\ -\zeta + \theta_4^i \\ +\zeta + \theta_3^i \\ -\zeta + \theta_3^i \\ +\zeta + \theta_2^i \\ -\zeta + \theta_2^i \\ +\zeta + \theta_1^i \\ \theta_1^i \end{matrix}$$

Las variables  $\theta$ , representan cuanto se alejan las restricciones con respecto al valor del lado derecho de la ecuación.

Sujeto a las restricciones siguientes:

- Las variables de decisión deben ser continuas entre los valores 0 y  $1 \leq X_{ij} \leq 1$
- Todas las unidades deben ser asignadas, por lo tanto la suma de los porcentajes de cada nivel de complejidad debe ser 1.

$$\sum_{j=1}^5 X_{1j} = 1 \quad \sum_{j=1}^5 X_{2j} = 1 \quad \sum_{j=1}^5 X_{3j} = 1 \quad \sum_{j=1}^5 X_{4j} = 1$$

$$\sum_{j=1}^5 X_{5j} = 1 \quad \sum_{j=1}^5 X_{6j} = 1$$

- La suma de los tiempos dedicados a las unidades de diferente complejidad es igual a la cantidad de horas hombre dedicadas al procesamiento en la estación ( $M_k$ , donde  $k$  representa la línea de ensamblaje de unidades). Los tiempos promedio fueron obtenidos a partir de la siguiente tabla

La última columna es la multiplicación de las tres columnas anteriores, generando de esta forma el tiempo promedio necesario para completar las unidades requeridas para una sección. Lo cual genera las restricciones de esperado que se dedicaría cada línea en una sección, tomando en cuenta todos los niveles de complejidad:

$$1.35(X_{11})+5.94(X_{21})+3.11(X_{31})+1.21(X_{41})+2.03(X_{51})+6.16(X_{61}) = M_1$$

$$1.35(X_{12})+5.94(X_{22})+3.11(X_{32})+1.21(X_{42})+2.03(X_{52})+6.16(X_{62}) = M_2$$

$$1.35(X_{13})+5.94(X_{23})+3.11(X_{33})+1.21(X_{43})+2.03(X_{53}) = M_3$$

$$1.35(X_{14})+5.94(X_{24})+3.11(X_{34})+1.21(X_{44})+2.03(X_{54}) = M_4$$

$$1.35(X_{15})+5.94(X_{25})+3.11(X_{35})+1.21(X_{45})+2.03(X_{55})+6.16(X_{65}) = M_5$$

□ Por último, las horas hombre repartidas entre cada uno de los operadores, se espera que sean iguales para cada una de las líneas.

$$\frac{M_1}{9} + \theta_1^- - \theta_1^+ = \frac{M_2}{9}$$

$$\frac{M_2}{9} + \theta_2^- - \theta_2^+ = \frac{M_3}{9}$$

$$\frac{M_3}{9} + \theta_3^- - \theta_3^+ = \frac{M_4}{9}$$

$$\frac{M_4}{9} + \theta_4^- - \theta_4^+ = \frac{M_5}{19}$$

$$\frac{M_5}{19} + \theta_5^- - \theta_5^+ = \frac{M_1}{9}$$

A partir de las restricciones anteriores, podemos obtener los resultados mediante el Solver de Excel 2010. Lo cual se muestra a continuación:

Tabla 25. RESULTADOS: Proporción de unidades por nivel de dificultad asignadas a cada línea

Fuente: Elaboración Propia

Celda	Nivel de Dificultad	Líneas de ensamblaje				
		Celda A				Celda G
		1	2	3	4	5
A	1	17%	18%	18%	20%	28%
	2	8%	10%	10%	18%	55%
	3	24%	20%	20%	35%	No aplica
	4	25%	23%	23%	29%	No aplica
G	1	18%	18%	18%	18%	25%
	2	15%	15%	15%	19%	36%

El resultado obtenido muestra un acercamiento a una primera solución para ser implementada. Al ser aplicado en el modelo de simulación, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 26. RESULTADO: Utilización de los Operadores de la Celda A y Celda G, para la propuesta 1+ propuesta 2 Fuente: Elaboración Propia

Operarios	Cantidad	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
			Límite Inferior	Límite Superior
Celda A	Línea 1	43%	31%	55%
	Línea 2	44%	32%	56%
	Línea 3	44%	32%	56%
	Línea 4	49%	35%	63%
Celda G	Línea 1	31%	22%	40%

Mostrando que los intervalos de cada una de las utilizaciones se solapan, por lo tanto, se obtuvo el comportamiento esperado por el modelo de programación lineal. El impacto en el proceso de ensamblaje de unidades se muestra a continuación:

Tabla 27. RESULTADO: reducción tiempo promedio de ensamblaje de unidades. propuesta 1+ propuesta 2 Fuente: Elaboración Propia

Celda	Tiempo de ciclo Situación Actual	Tiempo de ciclo Propuesta	Porcentaje de Reducción
A	392.08	151.14	61.5%
G	119.76	119.01	1.0%

Los resultados obtenidos muestran una mejora considerable del sistema, pues es posible reducir el tiempo de ensamblaje de unidades de la celda A, sin afectar de forma significativa la celda G. Lo cual disminuye el tiempo total del ciclo de producción.

Tabla 28. RESULTADO: Tiempo total promedio, en horas, de producción propuesta 1+ propuesta 2 Fuente: Elaboración Propia

Celda	Situación Actual	Propuesta	Porcentaje de Reducción
A	448.4	65.3	85%
G	295.3	58.3	80%

La capacidad de producción al implantar ambas propuestas, se muestra a continuación, para 12 replicaciones del modelo:



Tabla 29. RESULTADO: Capacidad de producción del modelo propuesta 1 + propuesta 2  
Fuente: Elaboración Propia

Replicación	Capacidad (produccion/mes)
1	1122
2	1326
3	1360
4	1339
5	1358
6	1344
7	1360
8	1387
9	1304
10	1383
11	1318
12	1354
<b>Promedio</b>	1330
<b>Desv.estándar</b>	70

Al comparar la capacidad obtenida con las 2 propuestas con la demanda pronosticada se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 30. Resultados del contraste de hipótesis para una prueba T de una muestra. propuesta 1 + propuesta 2  
Fuente: Elaboración Propia

	N	Media	Desv.Est.
Capacidad(Secciones)	12	1348.45	25.66
p-valor	0.000		

Con un nivel de significación del 5%, existen evidencias muestrales que permiten concluir que la media de la producción es inferior a la demanda.

La mejora de las utilizaciones de los recursos actuales, causaron un movimiento de los cuellos de botella a los procesos de ensamblaje final, por lo cual el sistema presenta la misma capacidad. Estos se muestran a continuación a través de la siguiente tabla y un diagrama.

Tabla 31. Utilización y tiempos en cola promedio, en horas, de los cuellos de botella en la propuesta 1 + propuesta 2.  
Fuente: Elaboración Propia

Celda	Operarios	Utilización Promedio	Tiempo en cola promedio
A	Estación ensamblaje de unidades con secciones, línea 1	90%	3.83
	Estación ensamblaje de unidades con secciones, línea 2	93%	6.83

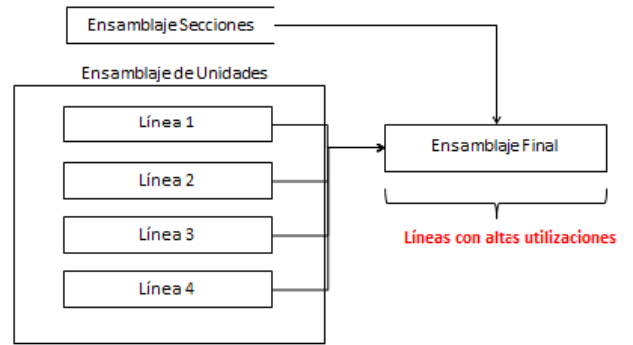


Gráfico 25. Diagrama de líneas con operarios con altas utilizaciones  
Fuente: Elaboración Propia

10.3 Propuesta 3: Reubicación de personal en la línea de ensamblaje final en la celda A.

Una vez implementada la propuesta 1 y la propuesta 2, se plantea una propuesta adicional (propuesta 3) que consiste en la reubicación de personal en el proceso de ensamblaje final. Un requisito del proceso productivo es que el Ensamblaje Final no requiera más de 15 operadores entre las estaciones de ensamblaje de unidades y secciones, cableado e inspección. Por lo cual realizaremos las reubicaciones de acuerdo a la utilización de los operarios en la línea de ensamblaje.

Tabla 32. Utilizaciones de los operarios en el Ensamblaje Final, Celda A, situación actual  
Fuente: Elaboración Propia

Línea	Operario	Cantidad Actual	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
1	Ensamblaje unidades y secciones	5	90%	87%	93%
	Cableado	8	28%	27%	29%
	Inspección	2	38%	37%	39%
2	Ensamblaje unidades y secciones	5	93%	91%	95%
	Cableado	8	29%	28%	30%
	Inspección	2	39%	38%	40%

Los procesos que presentan una mayor cantidad de operarios, tienen la menor utilización, por lo cual se realizaron los siguientes cambios:

- Alternativa 1: Ubicar un operario de la estación de cableado a la estación de ensamblaje de unidades (ver resultados en Tabla 33)

Tabla 33. RESULTADOS: Utilizaciones de los operarios en el Ensamblaje Final, Celda A. alternativa 1. Propuesta 1 + propuesta 2+ propuesta 3  
Fuente: Elaboración Propia

Línea	Operario	Cantidad Actual	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
1	Ensamblaje unidades y secciones	6	77%	74%	80%
	Cableado	7	32%	29%	35%
	Inspección	2	38%	35%	41%
2	Ensamblaje unidades y secciones	6	79%	77%	81%
	Cableado	7	33%	31%	35%
	Inspección	2	38%	36%	40%

- Alternativa 2: Ubicar dos operarios de la estación de cableado a la estación de ensamblaje de unidades (ver resultados en Tabla 34)

Tabla 34. RESULTADOS: Utilización de los operarios en ensamblaje final de la celda A. alternativa 2. Propuesta 1 + propuesta 2+ propuesta 3  
Fuente: Elaboración Propia

Línea	Operario	Cantidad Actual	Utilización Promedio	Intervalo de confianza nivel de confianza: 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
1	Ensamblaje unidades y secciones	7	59%	56%	62%
	Cableado	6	40%	37%	43%
	Inspección	2	41%	38%	44%
2	Ensamblaje unidades y secciones	7	59%	57%	61%
	Cableado	6	42%	40%	44%
	Inspección	2	40%	38%	42%

A partir de las utilizaciones mostradas anteriormente, consideraremos la última opción. Al realizar una prueba de contraste de hipótesis para conocer si el sistema es capaz de satisfacer la demanda, encontramos lo siguiente.

Tabla 35. RESULTADO: Capacidad de Producción en secciones por mes, para cada replicación de la simulación. Propuesta 1+ propuesta 2 + propuesta 3  
Fuente: Elaboración Propia

Replicación	Capacidad del proceso
1	1834
2	2056
3	2123
4	2052
5	2050
6	2103
7	2158
8	2118
9	2079
10	2126
11	2045
12	2089
<b>Promedio</b>	<b>2069</b>
<b>Dev.estándar</b>	<b>82</b>

Tabla 36. Resultados del contraste de hipótesis para una prueba T de una muestra. Propuesta 1 + propuesta 2+ propuesta 3  
Fuente: Elaboración Propia

	N	Media	Dev.Est.
<b>Capacidad(Secciones)</b>	12	2069.4	82.4
<b>p-valor</b>	1.000		

Con un nivel de significación del 5%, no existen evidencias muestrales que permiten concluir que la media de la producción es inferior a la meta de demanda propuesta. Pudiendo aceptar que la capacidad de producción del sistema es superior a la demanda pronosticada.

Es importante destacar que las propuestas presentadas deben realizarse de forma conjunta para obtener los resultados estimados, puesto que cada propuesta es construida con base a la propuesta anterior.

## X. CONCLUSIONES

Las soluciones propuestas son:

Propuesta 1: Transferencia de algunas demoras al almacén de materias primas, mediante la inspección de piezas e insumos necesarios antes de que ingrese la orden al proceso productivo. El número promedio de gabinetes producidos por mes, se mantuvo constante en 1221.

Propuesta 2: Disminución en las utilizaciones en las líneas de Ensamblaje de Unidades, mediante una regla de asignación de las unidades con diferentes niveles de complejidad a cada línea de ensamblaje. El número promedio de gabinetes producidos por mes, aumentó a 1330.

Propuesta 3: Reubicación de personal en la línea de ensamblaje final en la celda A, a través de la asignación de dos (2) operarios de la estación de cableado a la estación de ensamblaje de unidades y secciones. El número promedio de gabinetes producidos por mes, aumentó a 2069.

Las tres propuestas se deben aplicar conjuntamente para obtener los resultados estimados a continuación.

*Tabla 37. Reducción de los tiempos promedio de ciclo, en horas, de la celda A y celda G*  
*Fuente: Elaboración Propia*

Celda	Situación Actual	Propuesta	% reducción
A	448.4	67.6	85%
G	295.3	63.3	79%

Tabla 38. Reducción del trabajo en proceso

Fuente: Elaboración Propia

Celda	Partes del Gabinete	Situación Actual	Propuesta	% reducción
A	Secciones	2927	811	72%
	Unidades	6600	1600	76%
G	Secciones	1673	314	81%
	Unidades	2180	645	70%
total	Secciones	4600	1125	76%
	Unidades	8780	2245	74%

*Tabla 39. Aumento de la capacidad de producción de gabinetes por mes*  
*Fuente: Elaboración Propia*

Celda	Situación Actual	Propuesta	% de Aumento
A	800	1400	75%
G	390	670	72%
Total	1190	2070	74%

## REFERENCIAS

- [1] Winter Simulation Conference Archive, <http://informs-sim.org/>
- [2] Rohrer, M. W. (1998). Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems. En Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice (págs. pp.519- 545). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Harrell, C., & Gladwin, B. (2007). Productivity Improvement in Appliance Manufacturing. Recuperado el Noviembre 2015, de Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference: <http://www.informssim.org/wsc07papers/199.pdf>
- [4] Park, Y., Matson, J., & Miller, D. (1998). Simulation and Analysis of the Mercedes-Benz All Activity Vehicle (AAV) Production Facility. Recuperado el Noviembre 2015, de Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference: <http://www.informssim.org/wsc98papers/124.PDF>
- [5] Ziarnetzky, T., Mönch, L., & Biele, A. (2014). Simulation of Low-Volume Mixed Model Assembly Lines: Modeling Aspects and Case Study. Recuperado el Noviembre 2015, de Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference
- [6] Banks, J.; Carson, J.; Nelson, B.; Nicol, D. (2001). Discrete-event System Simulation. 3a. edición, Ed. Prentice Hall
- [7] Winston, W. (2005). Investigación de operaciones. Mexico D.F: Thomson.