

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO CON LOS NUEVOS MOTORES

3.1 Problema y Alcance

El proceso de ensamble del motor con caja de transmisión se realiza en el anexo de la nave denominada Nave 5, e incluye la fijación de tres partes en diferentes versiones de motor, algunos de los cuales son fabricados por la empresa y otros que provienen de distintas plantas automotrices del consorcio. Las partes que actualmente se ensamblan al motor en el área donde se llevó a cabo el proyecto son: bomba de servodirección, polea y caja de transmisión. La bomba de servodirección y la polea son iguales para cada tipo de motor. Para la caja de transmisión hay diferentes versiones que se ensamblan a los motores que les corresponden. Hay varias familias de motores, dentro de éstas, algunas versiones de motor comparten el mismo tipo de caja de transmisión.

Actualmente existen cinco operaciones para el proceso de ensamble y cada una tiene asignada un operador. Cada operación consta de varios elementos a realizar por el operario. La bomba y la polea son bastante ligeras y de tamaño pequeño como para manejarlas manualmente, por lo que el operador no necesita apoyo para su movimiento. Sin embargo, por cuestión de peso y tamaño, es necesario el uso de un polipasto para la movilización de la caja de transmisión.

El pronóstico del volumen de ventas para las versiones del **A5**, fue calculado por el departamento de ventas y el proyecto presente se basa en este pronóstico. Este pronóstico está dado bajo el escenario más probable. De acuerdo con el pronóstico de ventas, está previsto que se modificará el volumen de ventas con respecto al actual, así como la mezcla de producción. Por lo tanto, al modificarse el volumen de producción, es necesario

modificar el proceso que actualmente se lleva a cabo y si es necesario aumentar el número de puestos de trabajo, de tal forma que se cuente con la capacidad instalada conveniente para satisfacer la nueva demanda.

De acuerdo a algunas observaciones durante la etapa de pruebas, se espera que el tiempo de ensamble para los nuevos motores también varíe con respecto al tiempo actual. Aunque el número de observaciones realizadas no es significativo como para llegar a alguna conclusión, ya que los ensambles de prueba sólo se han realizado esporádicamente, las operaciones son similares en el grado de complejidad, pero requieren más tiempo para su realización.

La planeación de producción ha programado la cantidad de motores a producir, empezando con volúmenes bajos, incrementándose hasta alcanzar el volumen esperado de producción más elevado. Actualmente se realiza la etapa de pruebas para el ensamble para el nuevo motor, con base en las observaciones que se realicen y a un estudio de tiempos se podrá determinar el tiempo de ciclo para el nuevo proceso de ensamble del motor con la caja de transmisión.

En cuanto a logística se refiere, los materiales como tuercas y tornillos, así como las bombas de servodirección y las poleas, seguirán siendo distribuidos de la misma forma, siendo estos elementos abastecidos por un proveedor que sigue los lineamientos y las políticas acordadas con la empresa.

Actualmente se tienen a cinco operadores para cada uno de los tres turnos que se trabaja en el área de ensamble. La dirección está dispuesta a aumentar el número de obreros en caso de que sea necesario el aumento de puestos de trabajo para satisfacer la demanda conforme al volumen de producción requerido.

A continuación, en la figura 3.1 se muestra un esquema del área de las operaciones de ensamble. En esta figura se puede apreciar la posición que el operador ocupa la mayor parte del tiempo durante la operación que realiza, así como los puestos de trabajo en donde se realizan los ensambles, en color amarillo se puede apreciar la ruta que sigue la cadena por donde llegan los motores a la zona de ensamble, y por la que se trasladan a la siguiente parte del proceso. Con el color blanco se distingue un puesto de ensamble que se encuentra deshabilitado. En la parte inferior de la figura se observa la zona donde se encuentran las diferentes cajas de transmisión que serán ensambladas.

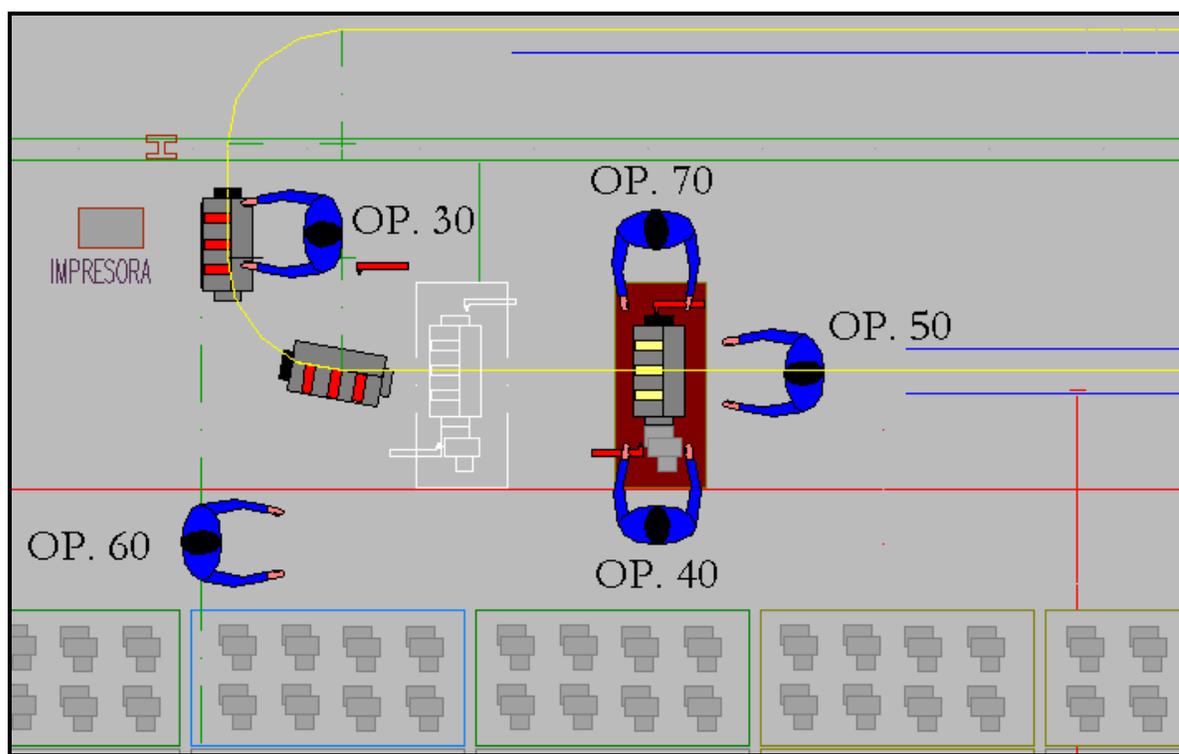


Figura 3.1 Esquema las operaciones del área actual de ensamble del motor con caja de transmisión.

Fuente: Planta Producción Componentes, Volkswagen (con modificaciones propias)

En el Apéndice A se muestra el layout completo del Anexo Nave 5, área actual de ensamble del motor con la caja de transmisión para el modelo **Jetta A4**.

3.2 Proceso de la Operación de Ensamble

La primera operación del proceso de ensamble, identificada por la empresa como operación 30, consiste básicamente en fijar la bomba de servodirección y colocar la polea en el motor. Posteriormente el ensamble llega a un puesto donde se realizan tres operaciones simultáneamente (OP. 40, OP. 50 y OP. 70), con el apoyo del operador de la quinta operación (OP. 60). Estas operaciones varían de acuerdo al motor del que se trate, ya que los motores a ensamblar pertenecen a una de seis familias de motores que se detallarán posteriormente. Básicamente, dos de las operaciones (OP. 40 y OP. 50) consisten en el apriete de diferentes tornillos que fijan la caja de transmisión. La otra operación (OP. 70) consiste en fijar la polea y apretar un tornillo. Mientras estas cuatro operaciones (OP.30, OP. 40, OP. 50 y OP. 70) se llevan a cabo, una quinta operación (operación 60) es realizada por otro operario, cuya función es seleccionar la caja de transmisión que corresponde al motor que se va a ensamblar, retirar tuercas del sujetador que tiene la caja, y sostener la caja de transmisión hasta que sea atornillada.

Como se puede apreciar en la Figura 3.1, estas cinco operaciones están distribuidas en dos estaciones de ensamble, la primera para la operación 30, y la segunda para las operaciones restantes. En la parte inferior se aprecia la zona de donde se toman las cajas de transmisión para su ensamble.

Como se mencionó, actualmente hay seis familias de motores que se ensamblan bajo este proceso. Al mismo tiempo estas familias pueden clasificarse en tres grupos, las familias pertenecientes a un mismo grupo, siguen el mismo proceso de ensamble. Esta clasificación se muestra a continuación:

Grupo	Familia de Motores
1	“A”, “C”, “E”
2	“B”
3	“D”, “F”

Así mismo existen varios tipos de cajas de velocidades, que de acuerdo a sus características también pueden ser clasificadas en familias. Cada familia de caja de transmisión se ensambla con una familia específica de motor como se muestra a continuación:

Familia de Cajas	Familia de Motores
C1	“A”, “B”
C2	“C”, “D”
C3	“E”, “F”

En las tablas contenidas en el Apéndice B se muestran a detalle las operaciones que se realizan para cada grupo de familias de motores, describiendo a grandes rasgos la operación realizada y el tiempo estándar que el área Planta Producción de Componentes determinó para cada operación.

La mezcla de producción por familias se muestra en la Tabla 3.1. Los datos fueron estimados haciendo observaciones aleatorias comparándolas con datos históricos de producción.

Tabla 3.1 Mezcla de producción por familias de motores.

Familia de Motor	Porcentaje de Producción
“A”	6.2%
“B”	7.6%
“C”	7.6%
“D”	10.0%
“E”	18.6%
“F”	50.0%

Elaboración propia.

Actualmente hay algunas operaciones que se realizan manualmente (como el guiado con los dedos de algunos tornillos), y para la mayoría de las operaciones se cuenta con herramientas de apriete. Al tener estas operaciones manuales, hay una variación inherente en el tiempo de ciclo para cada ensamble. Actualmente las herramientas no se pueden programar para que se controle el orden en que se realizan las operaciones respetando la secuencia establecida. Por lo tanto hay cierta flexibilidad para las operaciones, y los operadores llegan a cambiar el orden que está establecido. Eventualmente, los operadores llegan a realizar operaciones que no les corresponde. Algunas veces realizan las operaciones más lentamente, y otras veces reducen los tiempos estándar. De acuerdo a lo que se observó, en gran parte esto depende al volumen de producción que tengan que cubrir antes de terminar su turno. Esta flexibilidad puede representar ventajas, como Chow (1990) menciona, un operador humano es mucho más flexible que una herramienta automática, puesto que el trabajo manual puede ser fácilmente reestructurado. Así que sobre la base de este supuesto, esta flexibilidad permitirá una fácil reestructuración del proceso manual para

la nueva operación. Los cambios que se presentarán, radican en diferentes posiciones de tornillos para el nuevo motor, el uso de nuevas herramientas y la introducción de algunas operaciones.

El Apéndice C muestra los diagramas de precedencias que se han elaborado con base en la información presentada en el Apéndice B. Estos diagramas son de utilidad porque se pueden mostrar todos los elementos del trabajo señalando sus relaciones de precedencia, indicando qué actividades anteceden a otras. Además de la ayuda visual que representan para el análisis del proceso actual, se usan como base para el estudio posterior del proceso con los nuevos motores. Es importante mencionar que los diagramas fueron realizados de acuerdo a la información proporcionada por la empresa, más adelante se harán recomendaciones para la presentación de estos tiempos de ensamble.

3.3 Manejo de Materiales

Actualmente los motores son transportados de la nave donde se maquina el motor completo (Nave 6), hacia el área de ensamble localizada en el anexo de la Nave 5 mediante un sistema “**Power and Free**”. La función que se realiza en cuanto al manejo de materiales es sólo de transporte para los motores porque no hay productos almacenados, se trata de un flujo continuo del producto. La configuración de los puestos permite un sistema de jalar, en donde al terminar la última operación se transporta el ensamble a través de la cadena hacia la siguiente nave para su integración al automóvil. Cuando esto sucede, la cadena libera al motor anterior para que llegue al puesto de trabajo final, éste a su vez permite la liberación de otro motor hacia el área de ensamble para que llegue a la operación 30.

3.4 Simulación del Proceso

3.4.1 Formulación del problema

Como se describe anteriormente, la situación por la que se está realizando el proyecto incluye la introducción de un producto nuevo en la línea de ensamble con un tiempo de ciclo mayor al de los motores actuales. Además se ha pronosticado un cambio en el volumen de producción. Así mismo se requiere calcular la capacidad instalada actual del proceso con los motores que actualmente se ensamblan. Para analizar el sistema bajo las condiciones actuales y encontrar la capacidad instalada, se ha generado un modelo de simulación para obtener resultados que sean apegados al sistema actual. Además esto permitiría continuar el estudio y obtener resultados simulados bajo las nuevas condiciones del proceso.

3.4.2 Establecimiento de los objetivos y la planeación global del proyecto

El primer objetivo del análisis de la situación actual, es encontrar la capacidad instalada actual de producción. Posteriormente se requiere determinar las medidas necesarias para que se satisfaga el nuevo volumen de producción bajo las circunstancias antes mencionadas. Como objetivos específicos se ha planteado determinar el número óptimo de puestos de trabajo y la configuración de las operaciones para el proceso de ensamble de motor con caja de transmisión de tal forma que se cumpla con el volumen pronosticado de producción.

3.4.3 Conceptualización del modelo

Para elaborar el modelo de simulación, es decir, la representación del sistema de trabajo, se han identificado los siguientes elementos de acuerdo al sistema presente:

- Número de operadores: 5 operadores
- Número de puestos de trabajo: 1 puesto de trabajo
- Secuencia de las operaciones: Apéndice B.
- Tiempos de proceso para cada operación: Apéndice B.
- Tiempos entre llegadas de los motores: Los tiempos entre llegadas en unidades de tiempo se ajustaron a una distribución $22.86 + WEIB(74.59, 1.65)$, de acuerdo al software Input Analyzer (Ver Apéndice D). Aún así, el sistema en el modelo se estabiliza antes de 21,000 unidades de tiempo, y después no afecta la distribución de las llegadas.

Así mismo se hicieron los siguientes supuestos para el modelo:

- Los operadores realizan las operaciones que les corresponde y en el orden indicado en la secuencia de operaciones
- La llegada de los motores al proceso sigue una distribución mencionada anteriormente y no es afectada por situaciones externas.
- La mezcla de productos es la presentada en la Tabla 3.1.
- El orden en que se requieren los diferentes tipos de motores es aleatorio.
- La demanda pronosticada proporcionada por el departamento de ventas es correcta.

3.4.4 Recolección de datos

Los tiempos estándar de las operaciones fueron proporcionados por la empresa, ya que cuentan con un registro de los tiempos de ensamble que existen para cada tipo de motor actual. Los datos para el motor PQ35 se han estimado, ya que la producción no ha iniciado y no se ha determinado el tiempo estándar porque no se cuenta con el estado final de todas

las herramientas para el ensamble, pero se ha determinado que los tiempos de ensamble para las nuevas familias de motores sean mayores a los actuales. Para determinar la distribución que siguen los tiempos entre llegadas de los motores, se hicieron observaciones ya que la empresa no cuenta con el registro de estos tiempos. Para determinar la mezcla del producto, fue necesario tomar una muestra aleatoria sobre la producción real y compararla con datos históricos.

3.4.5 Construcción del modelo

En el Apéndice E se muestra el modelo de simulación que se diseñó para representar el sistema actual de producción en el software Arena. El primer módulo genera las entidades que representarán los motores entrando al sistema. En primera instancia, las entidades serán procesadas por los módulos de la operación 30. En el sistema real, sólo cinco motores pueden estar esperando para ser procesados por la operación 30 dentro del Anexo de la Nave 5 y los demás esperan en la línea de espera para entrar al anexo. Por esta razón se colocó un módulo que retuviera las entidades una vez que hubiera cinco en la línea de espera de la operación 30, y otro que no permitiera la liberación de estas entidades hasta que pasaran a la siguiente parte del modelo.

A continuación se registra la entrada de la entidad a la siguiente parte del modelo, donde se procesa la entidad con las operaciones 40, 50, 60 y 70. Se colocó un módulo de retención (“Hold”) para asegurar que sólo una entidad está dentro siendo procesada. Se asigna el tipo de motor de acuerdo a la mezcla de producción y se simula el tiempo que toma el motor para llegar al puesto de trabajo. A cada entidad se le asigna el tiempo de proceso de acuerdo a la familia a la que está asignada.

Para simular las operaciones que se realizan al mismo tiempo, y respetar las precedencias que se muestran a través del diagrama en el Apéndice C, se usaron módulos que separan a la entidad (“Separate modules”), provocando que la entidad se procese por dos operaciones se realizan al mismo tiempo pero cuyos tiempos de proceso son diferentes. Estas entidades se agrupan nuevamente a través de módulos de agrupación (“Batch modules”) para simular que las siguientes operaciones no pueden continuar hasta que la operación en proceso termine, respetando así las precedencias. Este procedimiento se sigue para las operaciones 40, 50, 60 y 70. Finalmente se registra el tiempo de ciclo y la salida de la entidad para liberar el puesto de trabajo y permitir la entrada de otra entidad.

3.4.6 Verificación y validación de los resultados.

El primer modelo fue diseñado como representación del sistema actual. Se hicieron varios cambios para verificar que el modelo estuviera completo y fuera una representación apegada a la realidad.

Para validar los resultados de la simulación del modelo, se compararon los resultados con la capacidad de producción teórica. Dado que los datos sobre el volumen de producción están codificados, para hacer clara la interpretación de los resultados, se optó por expresar la capacidad instalada del proceso al determinar el tiempo de ciclo. Después se expresan el número de productos que se obtienen en un millón unidades de tiempo. La siguiente tabla muestra los valores teóricos calculados y los resultados obtenidos en la simulación del sistema actual.

Tabla 3.2 Valores teóricos (T), valores estimados en la simulación (S) y porcentaje del valor estimado con respecto al valor teórico (P)

	T	S	P
Tiempo de ciclo (en unidades de tiempo)	233.08	247.09	106%
Capacidad (en 1,000,000 de unidades de tiempo)	4,290.5	4,449.7	104%

Elaboración propia.

Como se puede observar, los resultados de la simulación son cercanos a los valores teóricos. Ambos valores son más altos en la simulación. Esta variación puede ser presentada porque el valor teórico se obtuvo como un promedio ponderado. Es decir, se obtuvo con la mezcla de producción y los tiempos de cada familia. En la simulación, se asigna de forma aleatoria, de acuerdo a la mezcla de producción, la familia a la que pertenecerá cada entidad.

3.4.7 Diseño de experimentos

Los datos mostrados en la Tabla 3.2 fueron obtenidos a partir de una serie de diez réplicas en el software Arena. Los resultados más relevantes para esta etapa del estudio fueron los siguientes, una vez más expresando el tiempo de ciclo:

- Tiempo de ciclo: 233.08 unidades de tiempo
- “**Half Width**” = 0.00

Se determinó que el resultado deseado podría mostrar una variación en un rango de hasta una unidad de tiempo (± 0.5 unidad de tiempo), ya que esto no afectaría el resultado del promedio de ensambles obtenidos diariamente. El valor de “semirango” o “Half Width” obtenido resulta ser muy pequeño en cuanto a su variación. Al revisar la media del tiempo

de ciclo para cada una de las réplicas, se encontró una desviación estándar equivalente a 0.0067 unidades de tiempo, por lo que este valor también resultó menor al tolerado, y por lo tanto el valor obtenido con diez réplicas para este modelo resulta suficiente y no se requieren más réplicas para la confianza requerida del tiempo de ciclo.

3.4.8 Corridas y análisis de resultados

Por medio de la modelación del proceso actual y su simulación en el software Arena, se determinó que el tiempo de ciclo actual es en promedio de 247.09 unidades de tiempo, y por lo tanto, en un millón de estas unidades se podrían ensamblar un promedio de 4,449.7 motores. Estos resultados se apegan a la realidad y sirven de base para el análisis del sistema de producción con los nuevos motores.

3.5 Simulación del proceso actual con los nuevos motores

3.5.1 Formulación del problema

Como se ha mencionado repetidas veces, el volumen del proceso de ensamble cambiará, haciendo necesario un análisis para comprobar que la capacidad instalada actual es suficiente para cubrir el nuevo volumen de producción. A este factor del volumen se añade la estimación de que el tiempo de ciclo aumentará, consecuentemente se requerirá más tiempo para realizar un solo ensamble. Por lo tanto, es necesario el análisis del escenario de producción actual introduciendo los tiempos nuevos de ensamble, los cambios en el orden de algunas operaciones, así como la introducción de algunas nuevas y anulación de otras.

3.5.2 Establecimiento de los objetivos

El objetivo para el nuevo modelo consiste en verificar los cambios en la capacidad instalada del proceso una vez introducidos los tiempos y la configuración que se seguiría para el nuevo motor si el proceso y el número de puestos de trabajo permanecen igual.

3.5.3 Conceptualización del modelo

Para el nuevo modelo se partió del mostrado en el Apéndice E, explicado en la sección anterior. El modelo modificado toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se mantiene la distribución de las llegadas de las entidades al sistema
- Sólo se tiene un tipo de motor, aunque en la realidad se contará con varias familias de las que no se tiene información al momento
- El número de puestos de trabajo y de operadores es el mismo y la secuencia de operaciones se mantiene semejante a la actual.

3.5.4 Recolección de datos

Para determinar los nuevos tiempos de ensamble, se hicieron observaciones durante la etapa de pruebas del ensamble del motor PQ35 y se compararon contra los que se habían estimado para este motor. Los tiempos no son precisos puesto que aún se determinará la herramienta para algunas operaciones. Los tiempos nuevos se describen en el Apéndice F, que muestra la secuencia inicial de operaciones para el ensamble del motor PQ35.

3.5.5 Construcción del modelo

Al modificar el modelo de producción actual haciendo los cambios necesarios, se obtuvo el modelo de simulación mostrado en el Apéndice G. Se mantuvo la distribución de las llegadas de las entidades al sistema. El módulo para separar las entidades de acuerdo con el tipo de motor asignado fue eliminado ya que por el momento sólo se está tomando en cuenta un tipo de motor; ya que es el único del que se tiene información y se considera que éste es el que requiera el mayor tiempo de ensamble. Los otros cambios se hicieron por el orden de las operaciones, y los nuevos tiempos están integrados en los módulos de este modelo.

3.5.6 Verificación y validación de los resultados.

Para validar los resultados de la simulación del modelo modificado, se compararon los resultados con la capacidad instalada de producción teórica de la misma forma que en la sección anterior. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la simulación del sistema actual comparados con los valores teóricos:

Tabla 3.3 Valores teóricos (T), valores estimados en la simulación (S) y porcentaje del valor estimado con respecto al valor teórico (P)

	T	S	P
Tiempo de ciclo (en unidades de tiempo)	416.16	416.68	100%
Capacidad (en 1,000,000 de unidades de tiempo)	2,402.9	2,647.9	110%

Elaboración propia.

Se puede observar que el tiempo de ciclo obtenido de la simulación es prácticamente el mismo al teórico. El número de ensambles resulta mayor en la simulación que en el valor teórico.

3.5.7 Diseño de experimentos

Los datos mostrados en la Tabla 3.3 se obtuvieron después de realizar diez réplicas de simulación en el software Arena. El resultado de la simulación del modelo fue:

- Tiempo de ciclo: 416.68 unidades de tiempo
- “Half Width” = 0.00

Al igual que para la primera simulación, se permite que el resultado muestre una variación en un intervalo de hasta una unidad de tiempo. Se calculó la desviación estándar con cada una de las medias del tiempo de ciclo de cada réplica, obteniendo un valor correspondiente a 0.0002 unidades de tiempo. Este valor está dentro del intervalo de confianza permitido, por lo tanto el valor obtenido con diez réplicas para este modelo resulta suficiente.

3.5.8 Corridas y análisis de resultados

Los pronósticos indican que el volumen que tiene que ser cubierto para el nuevo ensamble es lo equivalente a 4,647 ensambles en un millón de unidades de tiempo. Expresado de una forma más sencilla, se requiere un tiempo de ciclo igual a 215.16 unidades de tiempo para poder cubrir la demanda pronosticada. La Tabla 3.4 indica la relación de los valores estimados en la simulación y las cantidades requeridas.

Tabla 3.4 Valores requeridos pronosticados (R), valores estimados en la simulación (S) y porcentaje del valor estimado con respecto al pronóstico de la demanda (P)

	R	S	P
Tiempo de ciclo (en unidades de tiempo)	215.16	416.68	194%
Capacidad (en 1,000,000 de unidades de tiempo)	4,647	2,647.9	57%

Elaboración propia.

El tiempo de ciclo para los ensambles sería prácticamente el doble en comparación al requerido, es decir que sólo se podría cumplir con el 57% de los ensambles requeridos de acuerdo a los resultados de la simulación. Para los valores teóricos correspondería 193% para el tiempo de ciclo y 52% para el pronóstico de la demanda de ensambles.

Estos resultados, bajo los supuestos mencionados, muestran que se necesitan realizar modificaciones para que se pueda cumplir con la demanda pronosticada, de otra forma no se alcanzaría el volumen deseado.