

# **Simulación de una línea de ensamble de bolígrafos usando teoría de colas**

**Wilmer Atoche**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

**Enrique Arevalo**

Faber Castell, Lima, Perú, earevalo@faber-castell.com.pe

**Roberto Valverde**

Faber Castell, Lima, Perú, rvalverde@faber-castell.com.pe

## **ABSTRACT**

This article shows the simulation of the production line assembly 032 pen, using queuing theory. Area and assembly process is described, information production times and stop times for each machine area are collected. The model is developed in two stages: 1) The production model and 2) the model of stop times, with these two models production times and total production for each shift are calculated. The results obtained by the model are similar to current production levels, besides these results also allow us to calculate the efficiency of each machine and all the assembly area. The main objective is to project production using the simulation model. You can simulate operating scenarios with limited resources.

**Keywords: Simulation, pens, queuing theory**

## **RESUMEN**

El presente artículo muestra la simulación de la producción de la línea de ensamble del bolígrafo 032, usando teoría de colas. Se describe el área y proceso de ensamble, se recopila información de los tiempos de producción y los tiempos de parada para cada máquina del área. Se desarrolla el modelo de dos etapas: 1) El modelo de producción y 2) El modelo de tiempos de parada; con estos dos modelos, se calculan los tiempos de producción efectivo y las producciones totales para cada turno. Los resultados obtenidos por el modelo son similares a los niveles de producción actuales; además estos resultados también nos permiten calcular la eficiencia de cada máquina y de toda el área de ensamble. El objetivo principal es poder proyectar la producción usando la simulación del modelo. Se puede simular escenarios de operación y calcular proyecciones con recursos limitados.

**Palabras claves: Simulación, bolígrafos, teoría de colas**

# 1. INTRODUCCIÓN

La línea de ensamble del bolígrafo 032 está compuesta por siete estaciones de ensamble (siete máquinas ensambladoras), cada máquina tiene una secuencia de operaciones para obtener el producto final.

La línea de ensamble se puede modelar de dos maneras usando teoría de colas; 1) considerando un único sistema de colas M/M/s, donde los servidores son las 7 máquinas ensambladoras ó 2) considerando 7 sistemas independientes, donde cada máquina es un modelo de colas M/M/1.

El modelo tiene dos etapas: Etapa1, se usa un modelo de producción sin interrupciones (sin paradas) y la Etapa 2, se usa un modelo de tiempos de parada; la unión de las dos etapas nos brinda un modelo de simulación más cercano a la realidad.

Los resultados obtenidos por la simulación son válidos al contrastarlos con los valores históricos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de ensamble en cada máquina sigue la siguiente secuencia de operaciones:

Timbrado 1, se timbra sobre el cuerpo el código de barras

Timbrado 2, se timbra sobre el cuerpo el logo

Ensamble de botón, se inserta el parte posterior el botón

Ensamble de mina, se inserta la mina

Ensamble de tapa, se tapa el bolígrafo

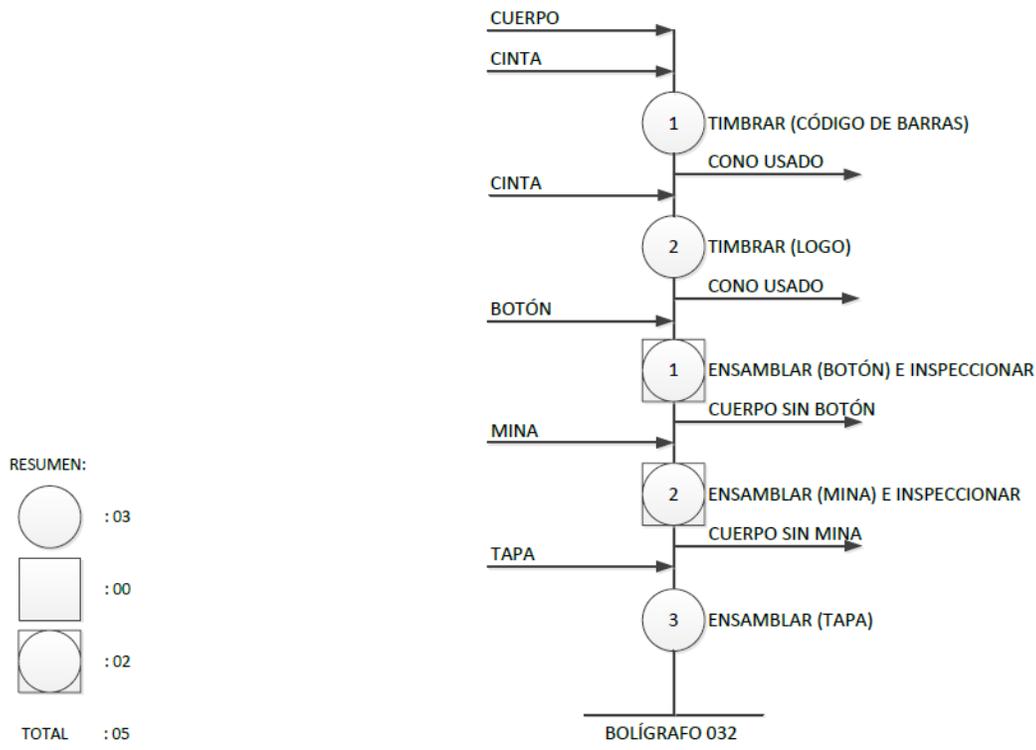


Figura 1: Diagrama de Operaciones del Proceso: Ensamble del bolígrafo 032

### 3. ANÁLISIS DE DATOS

Se recolecta la información necesaria para obtener posteriormente las tasas de llegadas, las tasas de servicio de cada máquina y del conjunto de las 7 máquinas. Se analiza por separado los tiempos de producción y los tiempos de parada.

#### 3.1 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN

Para el estudio se realizó el levantamiento de información de las máquinas operativas en la línea de ensamble 032, se consideró el tiempo de 20 pasos (producción de 40 bolígrafos)

Se muestra las estadísticas de los tiempos de producción de una de las máquinas ensambladoras

**Tabla 1: Estadística de timbrado de máquina ensambladora 032-1**

<b>TIMBRADO (s)</b>	
Media	22.51
Error típico	0.020248457
Mediana	22.49
Moda	#N/A
Desviación estándar	0.045276926
Varianza de la muestra	0.00205
Curtosis	0.239143367
Coefficiente de asimetría	1.131249779
Rango	0.11
Mínimo	22.47
Máximo	22.58
Suma	112.55
Suma de cuadrados	2533.5087
<b>Número de muestras</b>	<b>0.005178606</b>
Cuenta	5

La tabla 2 muestra el resumen de las cinco máquinas evaluadas

**Tabla 2: Estadísticas resumen de las máquinas ensambladoras**

<b>Máquina</b>	<b>Media (s)</b>	<b>Varianza (s<sup>2</sup>)</b>
032-1	22.51	0.00205
032-2	22.47	0.00092
032-3	22.05	0.00147
032-6	22.45	0.0034
032-7	22.40	0.00443

La tabla 3 muestra las estadísticas principales para una máquina estándar (promedio), estos valores se tomarán como parámetros en el estudio.

**Tabla 3: Estadísticas de la máquina ensambladora promedio**

Máquina promedio	
Media [s]	22.376
Varianza [s <sup>2</sup> ]	0.00245
Desviación estándar [s]	0.04954

Los valores obtenidos para una máquina promedio servirán como datos de tiempos de servicio para el análisis del sistema de colas

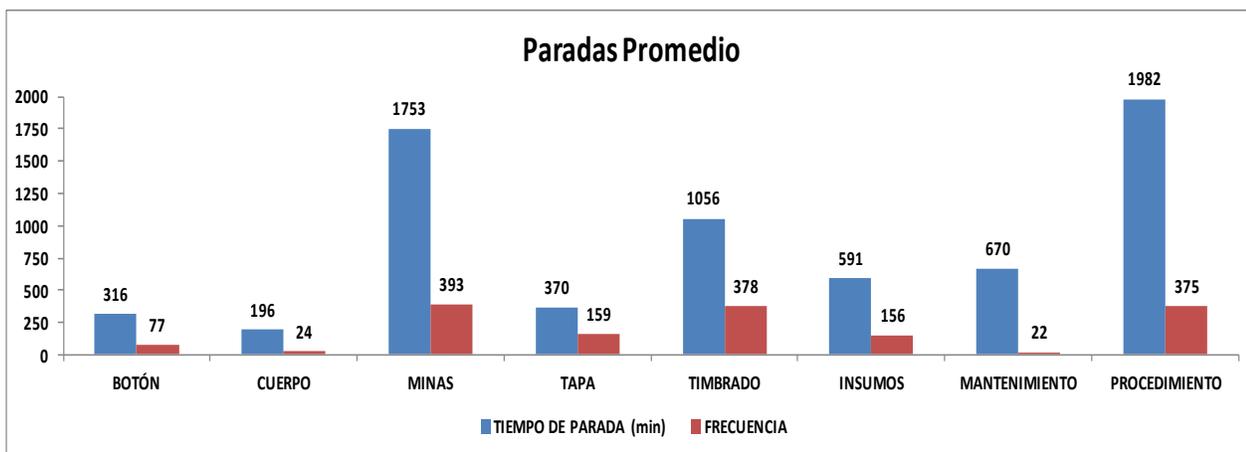
### 3.2 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE PARADA

Para el estudio se realizó el levantamiento de información de las paradas históricas que tuvieron las ensambladoras 032 desde el mes de julio hasta el mes de noviembre del 2013. Cabe mencionar que se consideró un mes promedio (26 días de trabajo), es decir un mes en donde todas las ensambladoras funcionaban y tenían una parada promedio por estación. Con respecto a esos resultados fue que se realizó los histogramas respectivos para cada estación y para cada ensambladora.

Los tipos de parada son debido a las estaciones de una máquina ensambladora 032, pero también existen paradas que se dan por otros motivos, las cuales también fueron consideradas en el estudio, a continuación se muestran dichas paradas:

- Parada por la estación de cuerpos
- Parada por la estación de timbrado
- Parada por la estación de botones
- Parada por la estación de minas
- Parada por la estación de tapas
- Parada por insumos
- Parada por mantenimiento
- Parada por procedimiento

En resumen se tiene el tiempo acumulado de parada y frecuencia por estación en la siguiente figura 1:

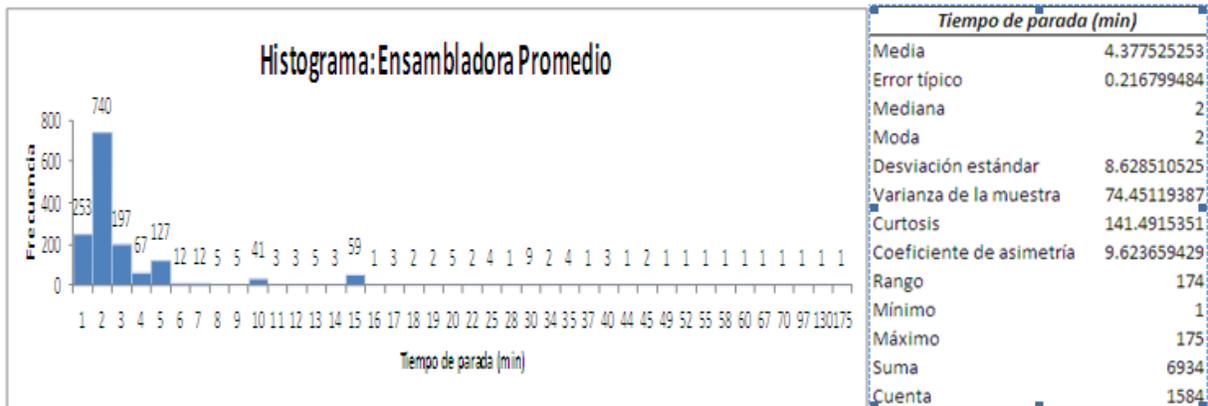


**Figura 2: Tiempo acumulado y frecuencia de las paradas de máquina**

Como se puede observar que las paradas por la estación de minas, por la estación de timbrado y por procedimiento son las más frecuentes (las tres acumulan el 72% de las paradas) y estas mismas paradas representan el 69% del total de tiempo de paradas.

Se puede representar el comportamiento de los tiempos de las paradas de una ensambladora promedio, sin considerar el tipo de parada:

Se muestra el histograma y las estadísticas de los tiempos de parada para una máquina ensambladora promedio



**Figura 3: Histograma y estadísticas de los tiempos de parada de máquina**

Con respecto a los resultados se puede observar que el tiempo acumulado de parada y frecuencia es de 6934 min y 1584 paradas respectivamente. También se puede observar que la media es de 4.38 min/parada debido a los valores altos que alcanza en algunos días específicos del mes (descartando dichos valores se podría considerar una parada promedio de 2.23 min/parada aproximadamente)

Los valores obtenidos para una máquina promedio servirán como datos de entrada para el análisis del sistema de colas

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El área de ensamble cuenta con 7 máquinas ensambladoras, cada una trabaja independientemente. Se puede simular independientemente la producción cada una de las máquinas y luego integrar todas para obtener la simulación de toda el área de ensamble.

El modelo de simulación para cada máquina ensambladora tiene dos etapas:

##### **Etapas 1: Simulación de la producción de una máquina ensambladora**

Se usa un modelo M/M/1 para simular la producción de cada máquina ensambladora.

Se tiene como parámetro de entrada el tiempo de procesar 1000 unidades en la maquina ensambladora, este tiempo es aproximadamente 560 segundos.

Se fija como tiempo por turno 43200 segundos (12 horas por turno)

Se generan números aleatorios para un mes de 25 días (50 turnos de producción); estos números y los parámetros anteriores nos simulan la producción mensual para cada máquina

## **Etapa 2: Simulación de las paradas**

Se usa un modelo M/M/1/DG/7/7 para simular los tiempos de parada de cada máquina ensambladora

Se tiene como parámetros de entrada las tasas de paradas de cada máquina (aproximadamente 30 paradas por turno máquina) y los tiempos de parada promedio para cada tipo de máquina.

Con el modelo de colas se obtiene el tiempo promedio de parada de la máquina y por el número de paradas se tiene el tiempo total que la máquina no produce. Este tiempo de parada nos sirve para determinar cuántas unidades se dejaron de producir en el respectivo turno de trabajo.

Se fija el tiempo de parada por turno (12 horas); luego, se generan números aleatorios para un mes de 25 días (50 turnos de producción); estos números nos simulan la producción no realizada mensual para cada máquina.

## **Integración de etapas**

La integración de las dos etapas consiste en simular un mes estándar con simulaciones de producción obtenidas en la etapa 1 y la simulación de la cantidad no producida en la etapa 2.

Producción Ideal. En la etapa 1 se calcula la producción mensual, considerando que la máquina ensambladora no sufre parada alguna, es decir, es la simulación de la producción ideal para el mes.

Producción No Realizada. Usando la etapa 2, se calcula la cantidad de unidades que no produce mensualmente cada máquina.

Producción Real. Adicionando la información anterior se puede calcular la producción real mensual considerando paradas. La siguiente ecuación describe la ecuación empleada para el cálculo de la simulación de la producción.

$$\textit{Producción Real} = \textit{Producción Ideal (sin paradas)} - \textit{Producción No Realizada (perdida por tiempo de parada)}$$

## **5. RESULTADOS DEL MODELO**

Se pueden obtener las producciones de un mes estándar (25 días), para cada una de las máquinas ensambladoras.

La producción teórica se obtiene en la etapa 1 del modelo, la producción real se obtiene integrando la etapa 1 con la etapa 2 del modelo; luego se calcula la eficiencia de cada máquina por cada turno y cada día del mes de toda el área de ensamble.

Los resultados de una de las máquinas ensambladoras se muestran en la tabla 3, esta tabla muestra la simulación diariamente por turno para una máquina ensambladora estándar, considerando dos turnos de 12 horas y 25 días de operación al mes. También, la misma tabla muestra el cálculo de la eficiencia diaria y la eficiencia total del mes. La simulación de las otras máquinas ensambladoras es similar, varían principalmente en sus tiempos de parada de operación.

**Tabla 4: Resultados de la simulación para un mes estándar, usando valores promedio de una ensambladora**

Día	Turno I			Turno II			Total del día			
	Producción Teórica	Producción Real	Eficiencia 1	Producción Teórica	Producción Real	Eficiencia 2	Producción Teórica	Producción Real	Eficiencia	
1	77.224	58.047	75.2%	77.272	57.502	74.4%	154.496	115.549	74.8%	
2	77.222	57.465	74.4%	77.276	58.668	75.9%	154.499	116.133	75.2%	
3	77.171	60.331	78.2%	77.167	59.166	76.7%	154.338	119.497	77.4%	
4	77.203	57.451	74.4%	77.200	57.448	74.4%	154.403	114.899	74.4%	
5	77.190	59.765	77.4%	77.279	59.252	76.7%	154.469	119.017	77.0%	
6	77.169	59.748	77.4%	77.189	57.440	74.4%	154.358	117.189	75.9%	
7	77.232	59.215	76.7%	77.175	59.753	77.4%	154.406	118.968	77.0%	
8	77.228	56.889	73.7%	77.311	58.113	75.2%	154.540	115.002	74.4%	
9	77.235	58.056	75.2%	77.235	60.380	78.2%	154.470	118.436	76.7%	
10	77.191	58.603	75.9%	77.254	59.814	77.4%	154.445	118.418	76.7%	
11	77.270	59.245	76.7%	77.243	56.899	73.7%	154.513	116.145	75.2%	
12	77.260	60.400	78.2%	77.264	59.822	77.4%	154.524	120.222	77.8%	
13	77.195	58.026	75.2%	77.253	59.232	76.7%	154.448	117.258	75.9%	
14	77.206	57.453	74.4%	77.190	58.603	75.9%	154.396	116.056	75.2%	
15	77.219	58.625	75.9%	77.263	57.496	74.4%	154.482	116.121	75.2%	
16	77.273	58.666	75.9%	77.274	59.829	77.4%	154.547	118.495	76.7%	
17	77.229	56.889	73.7%	77.198	59.190	76.7%	154.427	116.079	75.2%	
18	77.222	59.208	76.7%	77.268	58.081	75.2%	154.490	117.288	75.9%	
19	77.186	59.181	76.7%	77.232	57.472	74.4%	154.418	116.653	75.5%	
20	77.193	58.024	75.2%	77.254	56.907	73.7%	154.446	114.931	74.4%	
21	77.220	58.626	75.9%	77.271	60.409	78.2%	154.491	119.034	77.0%	
22	77.192	58.024	75.2%	77.256	59.816	77.4%	154.448	117.839	76.3%	
23	77.240	58.641	75.9%	77.225	59.792	77.4%	154.465	118.432	76.7%	
24	77.197	59.189	76.7%	77.224	58.629	75.9%	154.421	117.818	76.3%	
25	77.255	59.815	77.4%	77.202	57.450	74.4%	154.457	117.265	75.9%	
							TOTAL	3861.397	2932.742	75.9%

Obtenidas las simulaciones en todas las máquinas ensambladoras se puede simular el total del área de ensamble, la tabla 4 muestra los resultados de la simulación de cada máquina para un mes estándar y el total obtenido para el área; nótese también la eficiencia obtenida para cada máquina y para el área.

**Tabla 5: Resultados de la simulación para un mes estándar, por máquina**

<b>Máquina</b>	<b>Prod. Teórica</b>	<b>Prod. Real</b>	<b>Eficiencia</b>
Ensambladora I	3838.043	2631.047	68.6%
Ensambladora II	3845.145	3053.134	79.4%
Ensambladora III	3918.634	2739.999	69.9%
Ensambladora IV	3861.210	2945.967	76.3%
Ensambladora V	3860.574	2647.231	68.6%
Ensambladora VI	3848.394	2949.260	76.6%
Ensambladora VII	3857.220	2409.201	62.5%
<b>TOTAL</b>	<b>27029.220</b>	<b>19375.839</b>	<b>71.7%</b>

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por la simulación usando los modelos de teoría de colas; M/M/1 para la etapa 1 y M/M/1/DG/7/7 para la etapa 2, son similares a los niveles promedio actuales del proceso de ensamble para cada máquina ensambladora.

El modelo de simulación puede servir para proyectar los requerimientos de insumos de producción para el ensamble; cantidad de cuerpos, minas, botones, tapas, cintas y otros.

El modelo puede servir para administrar los recursos de mantenimiento de la empresa; técnicos de mantenimiento por turno, insumos de mantenimiento y piezas de recambio.

El modelo sirve incluso si se tiene variaciones en la tasa de producción de las máquinas ensambladoras o en la frecuencia y tiempos promedio de parada.

La variación de cantidad de máquinas operativas en un mes determinado, también se puede simular con el mismo modelo, solo es necesario anular o habilitar máquinas en el área de ensamble. Se puede simular el efecto que se obtendría si se opera con recursos limitados; cantidad de máquinas, turnos, días de trabajo por mes.

## REFERENCIAS

- Ballou, Ronald (2004). Logística: Administración de la Cadena de Suministros. 5° edición. Pearson Educación, México.
- Eppen, G., F. Gould, C. Schmidt, H. Moore y L. Weatherford (2004). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas. 5° edición Prentice Hall, México.
- Winston, Wayne (2005). Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. 4° edición. Thomson, México.
- Hillier F. S. / Lieberman G.J (2002) Investigación de operaciones, Mexico:McGraw-Hill.
- Ross, S. M. (1999) Simulación, Mexico: Prentice Hall.

### *Authorization and Disclaimer*

*Authors, Wilmer Atoche, Enrique Arevalo & Roberto Valverde, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*