

Comparación de técnicas utilizadas para la determinación de muestras necesarias para el estudio de tiempos

Comparison of techniques used for the determination of samples necessary for the study of times

M. De Lira-Martínez ^{a,*}, J. Romero-Guerrero ^b

^a Posgrado CIATEQ, A.C. Circuito Aguascalientes Norte # 135, Parque Industrial del Valle de Aguascalientes San Francisco de los Romo, Ags. C.P. 20358
^b Departamento Manufactura Virtual y Lean y Cad Cae, CIATEQ A. C., Gaza 30 lote 1 Distrito de Educación, Salud, Ciencia, Tecnología e Innovación, 42163 San Agustín Tlaxiaca, Hgo, México.

Resumen

El estudio de tiempos juega un papel importante en la productividad de cualquier empresa de productos o servicios. Con éste se determinan los estándares de tiempo para la planeación, costos, programación, entre otras actividades por lo que, cualquier empresa que busca un alto nivel competitivo debe centrar su atención en las técnicas de estudio de tiempos, y tener la capacidad de seleccionar la técnica adecuada para analizar la actividad seleccionada. Lo que obliga que en la producción tengan equipos y maquinaria de producción en óptimas condiciones, además, de tener el estudio cronométrico de tiempos, datos estándares, datos de los movimientos fundamentales, muestreo del trabajo y estimaciones basadas en datos históricos y a la par, revisar la literatura para seguir un método sistemático. Esto último, con el fin de que, en base a lo observado durante un periodo de tiempo de referencia de los equipos, se proponen las acciones a seguir para solucionar los problemas.

Palabras Clave: Análisis de tiempos ciclo, Determinación de número de muestras, Estandarización.

Abstract

Time study plays an important role in the productivity of any product or service company. With it you can determine the time standards for planning, calculating costs, scheduling, among other activities, so that any company seeking a highly competitive level should focus its attention on the time study techniques, and have the ability to select the appropriate technique to analyze the selected activity. Which requires that production equipment and machinery be in optimal conditions, in addition, to have the chronometric study of times, standard data, fundamental movement data, work sampling and estimates based on historical data and at par, review the literature to follow a systematic method. The latter, in order that based on what was observed during a reference period of time of the equipment, the actions to be followed to solve the problems.

Keywords: Cycle time analysis, Determination of number of samples, Standardization.

1. Introducción

El estudio de tiempos es una técnica de ingeniería que permite determinar el tiempo estándar de un proceso, minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos, conservar los recursos y minimizar los costos, efectuar la producción sin perder de vista la disponibilidad de recursos energéticos, proporcionar un producto más confiable y de alta calidad, eliminar o reducir los movimientos ineficientes y acelerar los eficientes, considerándolos como factores externos

que pueden influir en la ejecución para cumplir y desarrollar el proyecto (García, 1998).

Las técnicas para estudio de tiempos han evolucionado rápidamente debido al avance tecnológico que ha permitido incorporar herramientas de punta aplicadas para este objetivo facilitando la labor del analista, obteniendo mayor precisión, velocidad de aplicación y resultados más confiables, comprensibles y rápidos. En un futuro cercano posiblemente se logren perfeccionar estas técnicas de tal forma que se llegue a prescindir por completo del trabajo de un analista. Por tanto, cuanto más completo sea el estudio de los métodos efectuado

*Autor para la correspondencia: villafuerte@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ma.fernanda.dlm@hotmail.com (María Fernanda De Lira Martínez), adan.romero@ciateq.mx (Jorge Adan Romero Guerrero).

durante las etapas de planeación, tanto menor será la necesidad de estudios de métodos adicionales durante la vida del producto, lo cual implica la capacidad tecnológica para el mejoramiento de la productividad es un procedimiento sin fin (Mayers, 2000).

Por otra parte, el estudio de tiempos radica en la técnica para establecer el tiempo estándar concedido para realizar una tarea determinada, con base en la medición del contenido empleado tiempos continuos para obtener un registro completo de tiempos, tomando en cuenta técnicas y métodos para verificar la validez del estudio. El fin del estudio de tiempo y movimiento es evitar actividad innecesaria que solo hacen que el tiempo de operación sea mayor, además de determinar que metodología se aplica mejora del proceso, y de esa manera optimizar tiempos de levantamiento.

2. Antecedentes

Los inicios de estudios empezaron en el siglo XVIII en Francia, cuando Perronet realizó estudios acerca de la fabricación de alfileres, pero no fue hasta finales del siglo XIX, con las propuestas de Frederick Taylor que estas se difundieron y fueron conocidas. Taylor fue llamado el padre de la administración científica y desarrollo en los 80's el concepto de "tareas", en el que proponía que la administración se debía encargar de la planeación del trabajo de cada uno de sus empleados y que cada trabajo debía tener un estándar de tiempo basado en el trabajo de un operario muy bien calificado.

En 1960 por H. B. Maynard, se establecen estándares mediante actividades lógicas definidas en modelos secuenciales que inclusive, superaban los inconvenientes de otras técnicas en base al desarrollo de aplicaciones sistematizadas de estudios de trabajo. H. B. Maynard en el libro *Manual de Ingeniería y Organización Industrial*, define al análisis operacional como un procedimiento sistemático, empleado para estudiar todos los factores que afectan al método de realización de una operación y alcanzar la máxima armonía general (López, J. et al., 2014).

El estudio de tiempo y movimiento se realizó con la finalidad de:

- Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
- Conservar los recursos y minimizar los costes.
- Proporcionar un producto que sea cada vez más confiable y de alta calidad.
- Eliminar o reducir los movimientos ineficientes y acelerar los eficientes

A través de este estudio, se busca encontrar el mejor método posible de realización de cada elemento necesario de la operación y se incorporan nuevos desarrollos de fabricación y mantenimiento a medida que están disponibles, en un continuo esfuerzo para llevar cada tarea a una etapa más cercana a la realización automática continua donde al dar inicio con las observaciones y toma de tiempos, se permite determinar el tamaño de muestra del cual con el apoyo e implementación del método Maytag, método estadístico y Westinghouse, se logra desarrollar un procedimiento diferente para punto de comparación.

3. Marco teórico

En la práctica, el estudio de tiempos incluye, por lo general, el estudio de métodos. Además, sostiene que los expertos tienen que observar los métodos mientras realizan el estudio de tiempos buscando oportunidades de mejoramiento. Para llevar a cabo el estudio de tiempos, los expertos disponen de un conjunto de técnicas tales como:

1. Registros tomados en el pasado para crear la tarea
2. Estimaciones de tiempo realizadas
3. Los tiempos predeterminados
4. Análisis de película
5. El estudio de tiempos con cronómetro que es la técnica utilizada con mayor frecuencia

Las técnicas para estudio de tiempos han evolucionado rápidamente debido al avance tecnológico que ha permitido incorporar herramientas como cronómetro, formularios para reunir y analizar datos, instrumentos de medición, e inclusive a nivel de softwares de simulación y modelado estadístico, facilitando la labor del analista, obteniendo mayor precisión, velocidad de aplicación y resultados más confiables, comprensibles y rápidos. En un futuro cercano posiblemente se logren perfeccionar estas técnicas de tal forma que se llegue a prescindir por completo del trabajo de un analista. En los siguientes párrafos se discuten algunas de las técnicas usadas para el análisis de tareas.

Para determinar el número de observaciones a realizar en este trabajo se realiza en base a la tabla establecida de este método, ver Tabla 1., determinando el número de lecturas necesarias para un estudio de tiempos por medio del método de Maytag con una precisión de ± 5% y un nivel de confianza del 95%. El procedimiento empleado para estimar el número de observaciones necesarias es el siguiente; toma de lecturas realizado mediante el siguiente criterio:

- Se tomarán diez lecturas para ciclos de dos minutos o menos.
- Se tomarán cinco lecturas para ciclos superiores a dos minutos.

Tabla 1. Tabla Maytag, determinación de número de observaciones.

R.X	Lecturas		R.X	Lecturas		R.X	Lecturas	
	5	10		5	10		5	10
0.10	3	2	0.40	47	27	0.70	145	83
0.11	3	2	0.41	47	27	0.71	145	83
0.12	4	2	0.42	52	30	0.72	153	88
0.13	4	2	0.43	52	30	0.73	153	88
0.14	6	3	0.44	57	33	0.74	162	93
0.15	6	3	0.45	57	33	0.75	162	93
0.16	8	4	0.46	63	36	0.76	171	98
0.17	8	4	0.47	63	36	0.77	171	98
0.18	10	6	0.48	68	39	0.78	180	103
0.19	10	6	0.49	68	39	0.79	180	103
0.20	12	7	0.50	74	42	0.80	190	108
0.21	12	7	0.51	74	42	0.81	190	108
0.22	14	8	0.52	80	46	0.82	199	113
0.23	14	8	0.53	80	46	0.83	199	113
0.24	17	10	0.54	86	49	0.84	209	119
0.25	17	10	0.55	86	49	0.85	209	119
0.26	20	11	0.56	93	53	0.86	218	125
0.27	20	11	0.57	93	53	0.87	218	125
0.28	23	13	0.58	100	57	0.88	229	131
0.29	23	13	0.59	100	57	0.89	229	131
0.30	27	15	0.60	107	61	0.90	239	138
0.31	27	15	0.61	107	61	0.91	239	138
0.32	30	17	0.62	114	65	0.92	250	143
0.33	30	17	0.63	114	65	0.93	250	143
0.34	34	20	0.64	121	69	0.94	261	149
0.35	34	20	0.65	121	69	0.95	261	149
0.36	38	22	0.66	129	74	0.96	273	156
0.37	38	22	0.67	129	74	0.97	273	156
0.38	43	24	0.68	137	78	0.98	284	162
0.39	43	24	0.69	137	78	0.99	284	162
						1.00	296	169

(ver apéndice A)

El método estadístico requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares (n'), y aplicar la fórmula:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n'\Sigma x^2 - \Sigma x^2}}{\Sigma x} \right)^2 \tag{1}$$

siendo:

n = tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)

n' = número de observaciones del estudio preliminar

Σ = suma de los valores

x = Valor de las observaciones.

40 = Constante para un nivel de confianza de 94.45%

Gracias a la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si el resultado de un proceso concuerda con el diseño del producto o servicio correspondiente, con el propósito de informar a la gerencia sobre los cambios introducidos en los procesos que haya repercutido favorablemente en la producción resultante de dichos procesos (Winston, 2004).

El propósito de un estudio estadístico suele ser, extraer conclusiones acerca de la naturaleza de una población. Al ser la población grande y no poder ser estudiada en su integridad en la mayoría de los casos, las conclusiones obtenidas deben basarse en el examen de solamente una parte de ésta, lo que nos lleva, en primer lugar, a la justificación, necesidad y selección de las diferentes técnicas de muestreo. La preocupación por controlar, informar y conocer con exactitud el porcentaje de productividad del proceso y seleccionar la estrategia idónea permite establecer la correcta toma de decisión para mejorar los procesos de fabricación. Por último, el método de Westinghouse permite analizar la producción anual en relación al tiempo de producción invertido, lo cual refleja la cantidad total de tomas necesarias. La tabla Westinghouse, ver Tabla 2., obtenida empíricamente, proporciona el número de observaciones necesarias en función de la duración del ciclo y del número de piezas que se fabrican al año. Esta tabla expone únicamente la aplicación a operaciones representativas llevadas a cabo por operarios especializados.

Tabla 2. Tabla Westinghouse

Cuando el tiempo por pieza o ciclo es:	Número mínimo de ciclos a estudiar		
	Actividad más de 10' 000 por año	1' 000 a 10' 000	Menos de 1' 000
1.000 horas	5	3	2
0.800 horas	6	3	2
0.500 horas	8	4	3
0.300 horas	10	5	4
0.200 horas	12	6	5
0.120 horas	15	8	6
0.080 horas	20	10	8
0.050 horas	25	12	10
0.035 horas	30	15	12
0.020 horas	40	20	15
0.012 horas	50	25	20
0.008 horas	60	30	25
0.005 horas	80	40	30
0.003 horas	100	50	40
0.002 horas	120	60	50
Menos de 0.002 horas	140	80	60

(ver apéndice B)

Una vez desarrollando el análisis de los métodos mencionados, se procede a realizar una simulación de sistemas en una computadora, ofreciendo un comportamiento de un sistema, donde la variación en sus características y complejidades siempre está presente, la síntesis de información de modelos es la ciencia de la computación y las técnicas estadísticas que representa imponer una estructura. Esencialmente, la simulación es una técnica que permite construir el modelo de una situación real aunada a la ejecución de experimentos con el modelo (Marmolejo, 2021). Por su parte, la simulación por eventos discretos es una herramienta para representar el comportamiento y desempeño de procesos del mundo real. La mayoría de los procesos de una organización se pueden describir con una serie de eventos separados y discretos, que ocurren a lo largo de cierto tiempo, y que alteran el estado de un sistema (Leonor, N, et al., 2017).

La amplitud de la definición posibilitó la comprensión de situaciones relacionadas entre sí, además de fortalecer el desarrollo y aplicación de conocimiento relativos a la predicción del futuro lo cual expone una ventaja respecto de los procesos de validación utilizando modelos de simulación lo cual resulta, en muchas ocasiones una tarea compleja para el análisis práctico, teórico y estadístico.

Cabe destacar que al hacer uso del módulo de *Experfit*, se logró ajustar las distribuciones de probabilidad a datos en forma automática, además permitió realizar un análisis completo de datos de los tiempos de distribución que se utilizarían con la metodología de Maytag y el primer escenario de la simulación.

4. Desarrollo

Los instrumentos empleados que se utilizaron fueron revisiones de literatura para la recopilación de datos, tales como, datos de análisis, aplicaciones de software, modelado y parámetros del modelo y el cronometro digital para la recolección de datos para medir el tiempo de cada máquina dentro del proceso de producción.

1. Se realizaron inspecciones en máquinas donde se tomaron anotaciones de tiempos de operación
2. Se capturó la información recopilada de tiempos del proceso en cada inspección diariamente.
3. El mapeo de flujo de valor se utiliza en el procesamiento de datos para visualizar el estado real del proceso de producción y determinar la clasificación de actividad de valor agregado y actividad sin valor agregado, así como fallas de mayor impacto que provocaron paro de operación o tiempo improductivo.
4. Se hizo un análisis de operaciones, de tiempos y movimientos utilizando la técnica Maytag que es con la provisión de 10 veces observaciones para actividades que tienen lugar en el ciclo de aproximadamente 2 minutos o menos mientras que 5 veces la observación para actividades que se desarrollan en el tiempo del ciclo mayor a 2 minutos, así como considerando la toma de cantidad de veces según el método estadístico y Westinghouse
5. En el caso del método estadístico se realizan observaciones preliminares, los valores de los

respectivos tiempos transcurridos en centésimas de minuto de cada proceso. Una vez teniendo los valores, se sustituyen y formulan los datos para obtener el valor de n. en caso de que el número de observaciones preliminares sea inferior al requerido, debe aumentarse el tamaño de las observaciones preliminares, luego recalcular n.

6. La información inicial sería recolectada en diferentes turnos, diferentes operadores en un periodo de 3.5 horas, en el primer turno de trabajo de la empresa. En un segundo periodo de tiempo, la recolección de datos se realizó en un lapso de 8 horas laborales por 15 días según lo obtenido, ver Tabla 3.
7. Se procesó información de las herramientas utilizadas para la optimización y se analizaron los resultados.

5. Resultados

Para la elaboración de la Tabla 3, se contempla para el análisis y obtención de distribución el número de observaciones que con ayuda de ExpertFit y su precisión determinó automáticamente qué distribución de probabilidad representaría mejor su conjunto de datos.

Tomando como ejemplo CORE_B1_2 de la tabla 3, y conociendo su distribución Inverted Weibull, introdujimos los datos location= 0.0086 y Scale=1.3591 con el fin de obtener con certeza el análisis de fiabilidad para modelar datos de tiempo antes de falla o bien capacidad, de los cuales según como se muestra en la Figura 1. La forma que presenta el grafico permite ver como se distribuyen los datos teniendo una curva con asimetría hacia la derecha. Así mismo, la escala la cual define la posición de la curva de Weibull respecto al valor de umbral corresponde a un percentil P 18.75= 1.35, es decir, el 18.75% de los datos tiene un valor de 1.3591.

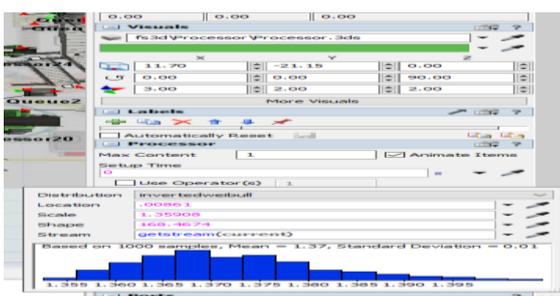


Figura 1. Distribución estadística.

5.1. Método Maytag

En los siguientes gráficos se muestra que, al realizar un modelo de eventos discretos, por ende, no son continuos, por lo que el resultado evidenciará diferencias en la producción en base a los datos propuestos. En base al método de Maytag se realizaron 6 escenarios.

La verificación de los datos obtenidos en las distribuciones estadísticas se valida en la primera simulación, donde una vez concluido el modelo, las conexiones, las distribuciones de

probabilidad que representan los datos y las ediciones del modelo requerido en FlexSim, se podrá llevar a cabo la simulación.

1er Escenario; El gráfico representa el resultado de la simulación, donde al realizar 5 corridas en la simulación del primer escenario, se concluye que se tiene una utilización del proceso óptimo en moldeo e inspección promedio de las cinco corridas.

Por lo que se declara que la simulación del primer escenario es fiable y se podrán realizar las simulaciones de los siguientes escenarios.

Continuando con el 2do Escenario, el grafico muestra a simple vista datos favorables, observando que durante las 5 corridas a comparación del primer escenario no se tiene mucha variación en el proceso, sin embargo, el bloqueo presentado en inspección K1 y el estado de paro en CTE_J, continúan en ambos escenarios.

En el desarrollo de los siguientes escenarios se observa el mismo comportamiento con producción sin presentar mayor variación.

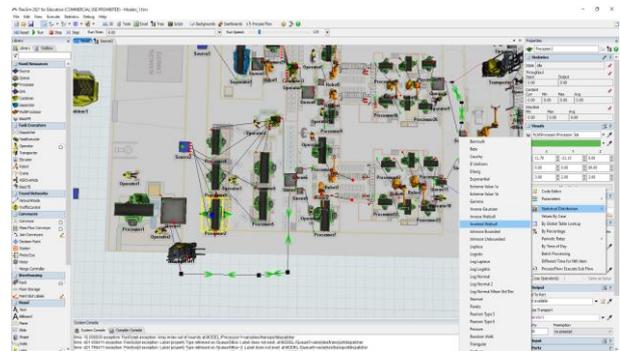


Figura 2. Modelo de simulación FlexSim

Durante el desarrollo de este escrito, se presentaron las diferentes recolecciones de datos lo cual ha permitido obtener datos estadísticos que ayudaron a comprobar las distintas variables críticas dentro del proceso productivo, datos que permitieron determinar las distribuciones estadísticas a utilizar para el correcto trabajo de la simulación en FlexSim, ver Figura 2, puesto que con el uso adecuado de las distribuciones, se pudo construir la simulación del proceso productivo y validar dicha simulación ya que la confiabilidad de la simulación nos permitió plantear 3 alternativas de mejora o escenarios, permitiendo efectuar comparaciones entre los distintos argumentos.

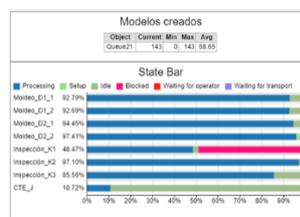


Gráfico 1. Escenario 1

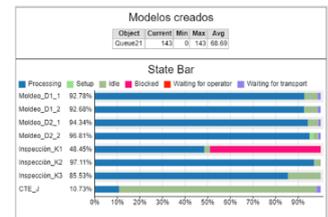


Gráfico 1. Escenario 2

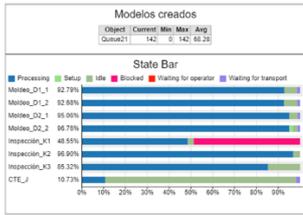


Gráfico 1. Escenario 3

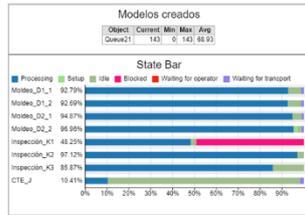


Gráfico 1. Escenario 4

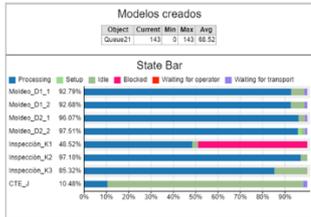


Gráfico 5. Escenario 5

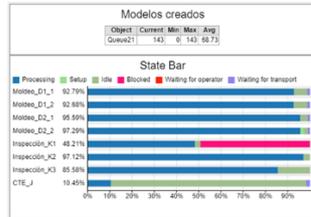


Gráfico 6. Escenario 6

5.2. Método Estadístico

En base al método estadístico realizamos el análisis con tiempos promedio teniendo variación contra el método de Maytag ya que en producción de piezas sin importar cuantas veces se corriera el modelo, se obtenían 141 piezas, mientras que con el método de Maytag se obtenían un promedio de 143.

No solo esta diferencia de 2 piezas entre modelos fue el punto que denoto se pusiera atención, sino que también en inspección K1 se obtuvo una mayor variación entre métodos, ya que el método Maytag presentó un 48% de trabajo de máquina, mientras que en el método estadístico presenta un 15,36% , ver Gráfico 7.

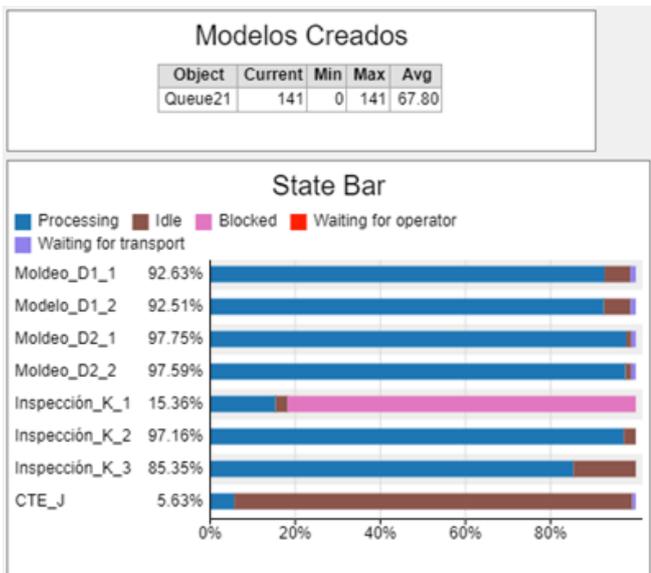


Gráfico 7. Modelo Método estadístico

5.3. Método Westinghouse

En el caso del modelo Westinghouse, el análisis realizado se tomó en un día laboral sin fallas en el proceso con los operadores de mayor habilidad y tiempo en el puesto de producción, permitiendo obtener una comparación exhaustiva entre los 3 métodos (Maytag, Método estadístico y

Westinghouse) y a su vez tener como resultado el mejor método de análisis en próximos escenarios y/o modelos, ver Gráfico 8.

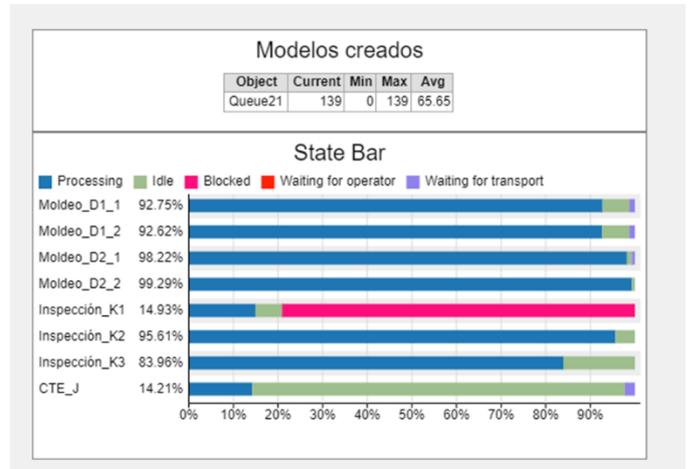


Gráfico 8. Modelo Método Westinghouse

5.4. Calculo de tiempo tacto

Tiempo tacto, muestra la frecuencia con la que se debe producir un producto para satisfacer la demanda del consumidor. El tiempo de producción disponible con turno es de 11.17 horas/día de lunes a domingo y período de descanso de 1 hora/día. Dentro de 1 mes consta de 4 semanas y dentro de 1 semana hay 6 días hábiles, por lo tanto:

$$Tiempo\ tacto = \frac{(tiempo\ disponible) \times (Eficiencia)}{Volumen\ de\ producción} \quad (2)$$

5.5. Análisis de tiempo ciclo.

El tiempo ciclo de cada proceso, es un tiempo de valor agregado a veces tiene elementos que no agregan valor llamado tiempo que no crea valor, tal es el caso de los tiempos ciclo demasiado largos en el procesamiento de un proceso también pueden conducir a un tiempo de creación sin valor. Otro caso sería, en componentes de moldeo de piezas, el tiempo ciclo largo hace que los trabajadores en el componente de moldeo sean inactivos por lo que esta actividad se clasifica como residuo. El análisis de mejoras realizadas para reducir el tiempo ciclo que se explicará en la mejora adicional propuesta.

5.6. Tiempo estándar

Para determinar el tiempo estándar del proceso, es necesario calcular el tamaño de la muestra representativo para esto. El tamaño de la muestra se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q} \quad (3)$$

Donde:

N= tamaño de la población

k= constante de nivel de confianza

p= porcentaje de homogeneidad de los datos

q= 1-p

e= error muestral deseado

5.7. Mapeo y análisis de muestras en base método Maytag, Westinghouse y método estadístico

Figura 3. Control de volúmenes de producción

El día 11 de enero del 2022 se realizó el análisis para comparar los tres métodos antes descritos, de los cuales como se muestra en la Figura 3. En el día de análisis se trabajó 11.17 horas, sin falla en maquinaria y con personal capacitado y con experiencia, teniendo incluso toda la línea de producción trabajando

Es necesario recordar que en la práctica al realizar el estudio de métodos se encontrará eventualmente con situaciones que distan de ser ideales para la aplicación continua del algoritmo de mejora. Por tanto, una vez evaluados los diferentes métodos empleados en este trabajo para la determinación del mejor método, en base a la tabla 3 comparativa que se muestra, la cual nos permitió poner en práctica la simulación y tener como resultado el método más próximo a la realidad. Además, se compara el tiempo empleado para toma de muestras en cada método donde se invirtieron 1200 min para la toma de tiempos en el método de Westinghouse, 780 min para el método estadístico y 661 min para el método de Maytag cuya recopilación de datos se muestra a continuación, ver Tabla 3.

Tabla 3. Recopilación de datos en base a método Westinghouse, método estadístico y método Maytag

HÚMERO DE OBSERVACIONE S	DISTRIBUCIÓN	RELATIVO A CORE	ITEM	Tempos empleado para toma de muestras	HÚMERO DE OBSERVACIONE S REQUERIDAS	HÚMERO DE OBSERVACIONE S TOMADAS	Tempos empleado para toma de muestras	HÚMERO DE OBSERVACIONE S REQUERIDAS	HÚMERO DE OBSERVACIONE S TOMADAS	Tempos de proceso	Tempos empleado para toma de muestras		
CORE_B1_1	EXPONENTIAL (1E)	72	LOCATIO N	1.55	1	10	1.55	10	15 MIN	3	5	1.56	10 MIN
			SCALE	0.01			0.01						
			LOCATIO N	0.01			0.01						
CORE_B1_2	INVERTED WEIBULL	75	SCALE	1.36	1	10	1.36	10	15 MIN	3	5	1.36	10 MIN
			SHAPE	168			168						
			LOCATIO N	3.29			3.29						
CORE_B1_3	EXPONENTIAL (1E)	96	SCALE	0.61	1	10	0.61	10	15 MIN	3	5	0.603	10 MIN
			LOWER ENDPOIN T	1.46			1.46						
			UPPER ENDPOIN T	1.53			1.53						
			LOCATIO N	3.22			3.22						
CORE_B1_4	JOHNSON SB	84.38	SHAPE R1	0.89	1	10	1.474	10	15 MIN	3	5	1.474	10 MIN
			SHAPE R2	1.25			1.25						
			LOCATIO N	3.22			3.22						
CORE_B1_5	WEIBULL (1E)	77	SCALE	0.58	1	10	0.598	10	15 MIN	3	5	0.598	10 MIN
			SCALE	0.58			0.58						

(ver apéndice C)

5.8. Análisis de métodos para toma de tiempos

Iniciando con el caso de estudio con la finalidad de encontrar una óptima solución al iniciar el modelo, desglosando cada actividad realizada en el proceso incluyendo movimientos de robot, tiempos ciclos de cada elemento, etc. en una tabla de

Excel la cual, posteriormente se utilizará para llevar a cabo el desarrollo del modelo.

5.9. Análisis de holgura:

Debido a que durante el estudio no se evidenciaron retrasos por motivos personales (fatiga o necesidades personales), para el análisis de la holgura en cada una de las actividades, se tuvo en cuenta la fatiga variable y la fatiga especial. La fatiga variable hace referencia a las interrupciones presentes en el desarrollo normal de ellas, por factores que no dependen del operario, pero ocurren con alguna frecuencia. Por ejemplo, cuando no hay referencias suficientes en stock, cuando el sistema envía al operario a una misma ubicación por la misma referencia en ocasiones repetidas, flujo del equipo de transporte de materiales interrumpido por otro (montacargas, estiba o carro de picking), el operario debe manipular las cajas o paquetes de referencias para alistar las unidades requeridas y cuando los pedidos grandes requieren reorganización porque existe el riesgo de que se derriben. Por otro lado, consideramos como fatiga especial, aquellas anomalías poco frecuentes que retrasan las actividades; entre ellas tenemos: fallas en el sistema (lo que ocasiona que este se cierre, por tanto el operario debe ingresar de nuevo al pedido que se encuentra alistando), búsqueda de bolsas o cajas vacías para organizar ítems, de modo que no queden sueltos, teniendo en cuenta que las cajas vacías no se encuentran apiladas en un punto de fácil acceso, otra causa poco presente es el buscar estibas disponibles cuando el pedido requiere ser alistado en más de una, además, deben rotularlas, y, por último se presentan retrasos cuando el operario debe marcar las cajas con la referencia del producto alistado en el momento de la entrega.

5.10. Capacidad real

Según (Niebel, B. y Freivalds, A. 2009) la tasa de producción efectiva, la cual es lograda por el proceso, la capacidad real es una función del tiempo ya que cambia de manera constante, se ve afectada por el desgaste de equipos, desgaste y reprocesos, entre otros factores. Por lo antes mencionado, para su cálculo se hace uso del factor de merma inherente al proceso entendido como la pérdida de características de alguno de los factores usados en el proceso.

Al realizar el análisis de las mermas encontradas en el proceso se llegó a la conclusión de asumir un porcentaje de 90%. Dicho valor, debido a que durante el proceso las mermas presentes no se evidencian de manera constante, alguna de estas mermas son errores en el sistema, cierre de la plataforma móvil y reproceso debido a falta de stocks de seguridad.

- Ecuación Capacidad real

$$Capacidad\ real = Capacidad\ efectiva * factor\ de\ merma \tag{4}$$

5.11. Eficacia

Es entendida como la capacidad que tiene un proceso de cumplir con los objetivos planteados, sin tener en cuenta la

economía de los recursos implementados para alcanzar dichos objetivos.

- Ecuación Eficacia

$$Eficacia = \frac{Capacidad\ real}{Capacidad\ de\ diseño} \quad (5)$$

5.12. Eficiencia

Capacidad de alcanzar el objetivo propuesto haciendo un uso mínimo de los recursos necesarios para llegar al cometido, lo cual supone una optimización en el proceso productivo.

- Ecuación Eficiencia

$$Eficiencia = \frac{Capacidad\ real}{Capacidad\ efectiva} \quad (6)$$

5.13. Productividad

Productividad es la capacidad que se tiene para generar resultado, sin necesidad de aumentar los recursos implicados, se emplea con el propósito de conocer que tan bien un proceso hace uso de sus recursos.

- Ecuación Productividad

$$Productividad = \frac{Tareas\ hombre}{Horas\ trabajadas} \quad (7)$$

6. Conclusiones

El desarrollo de un modelo de simulación de eventos discretos de un proceso productivo, permitió evaluar variables y posibles mejoras que permitan ser eficiente una línea del proceso con el soporte y uso de la herramienta Flexsim (software de simulación diseñado para eventos discretos y continuos), realizando un modelamiento y la corrida del modelo en 3D, identificando los impactos de acuerdo a los distintos escenarios planteados en búsqueda de tener como resultado una mejora de eficiencia.

Además, el uso de un modelo de simulación de eventos discretos, del proceso productivo permite evaluar las distintas variables y proponer mejoras en el proceso antes de implementarlas en la realidad.

Así mismo, la base del estudio realizó comparando los 3 métodos logrando determinar que el mejor método para poder realizar el análisis es por el método de Maytag, ya que presenta un 5% y un nivel de confianza del 95 %, donde las tomas de tiempo ciclo se definen de un principio según el método lo cual es diez lecturas para ciclos de dos minutos o menos y cinco lecturas para ciclos superiores a dos minutos. La simpleza de obtener el resultado para el análisis y modelado posterior el tiempo empleado para la toma de muestras fue menor a comparación del método de Westinghouse y el método estadístico.

Ya que gracias a este estudio y análisis de la tabla 3 desde el resultado de número de muestras que se deben realizar y la forma en realizar el método, resulta más fácil y rápido el llevar a cabo el desarrollo del método para una línea de producción.

7. Referencias

- García, R. (1998). *Estudio del Trabajo, Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo (Vol. 2°)*. Monterrey, México: Mc Graw Hill.
- Leonor, N., Díaz, T., Soler, G., Isabel, A., Molina, P., & Soler, V. G. (2017). Methodology of study of time and movement; introduction to the GSD, 39–49.
- López, J., Alarcón, E., y M. Rocha (2014) *Estudio del trabajo, una nueva visión*. México. Patria.
- Marmolejo, I. "Etapas de un modelo de simulación y la modelación con FlexSim," 2021. [Online]. Available: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/1358/4640>
- Meyers Fred. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos*. (Pearson Educación, Ed.). México
- Niebel, B., Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial; Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. (McGraw-Hill, Ed.) (11th ed.). México DF.
- Winston, W. (2004). *Investigación de Operaciones, Aplicaciones y Algoritmos (Vol. 4°)*. México: Thomson.

Apéndices**Apéndice A**

R/X	Lecturas		R/X	Lecturas		R/X	Lecturas	
	5	10		5	10		5	10
0.10	3	2	0.40	47	27	0.70	145	83
0.11	3	2	0.41	47	27	0.71	145	83
0.12	4	2	0.42	52	30	0.72	153	88
0.13	4	2	0.43	52	30	0.73	153	88
0.14	6	3	0.44	57	33	0.74	162	93
0.15	6	3	0.45	57	33	0.75	162	93
0.16	8	4	0.46	63	36	0.76	171	98
0.17	8	4	0.47	63	36	0.77	171	98
0.18	10	6	0.48	68	39	0.78	180	103
0.19	10	6	0.49	68	39	0.79	180	103
0.20	12	7	0.50	74	42	0.80	190	108
0.21	12	7	0.51	74	42	0.81	190	108
0.22	14	8	0.52	80	46	0.82	199	113
0.23	14	8	0.53	80	46	0.83	199	113
0.24	17	10	0.54	86	49	0.84	209	119
0.25	17	10	0.55	86	49	0.85	209	119
0.26	20	11	0.56	93	53	0.86	218	125
0.27	20	11	0.57	93	53	0.87	218	125
0.28	23	13	0.58	100	57	0.88	229	131
0.29	23	13	0.59	100	57	0.89	229	131
0.30	27	15	0.60	107	61	0.90	239	138
0.31	27	15	0.61	107	61	0.91	239	138
0.32	30	17	0.62	114	65	0.92	250	143
0.33	30	17	0.63	114	65	0.93	250	143
0.34	34	20	0.64	121	69	0.94	261	149
0.35	34	20	0.65	121	69	0.95	261	149
0.36	38	22	0.66	129	74	0.96	273	156
0.37	38	22	0.67	129	74	0.97	273	156
0.38	43	24	0.68	137	78	0.98	284	162
0.39	43	24	0.69	137	78	0.99	284	162

Apéndice B

Cuando el tiempo por pieza o ciclo es:	Número mínimo de ciclos a estudiar		
	Actividad más de 10' 000 por año	1' 000 a 10' 000	Menos de 1' 000
1.000 horas	5	3	2
0.800 horas	6	3	2
0.500 horas	8	4	3
0.300 horas	10	5	4
0.200 horas	12	6	5
0.120 horas	15	8	6
0.080 horas	20	10	8
0.050 horas	25	12	10
0.035 horas	30	15	12
0.020 horas	40	20	15
0.012 horas	50	25	20
0.008 horas	60	30	25
0.005 horas	80	40	30
0.003 horas	100	50	40
0.002 horas	120	60	50
Menos de 0.002 horas	140	80	60

Apéndice C

	Número de observaciones	Distribución	Relative score	Item	Relative score	Tiempo empleado para toma de muestras	Número de observaciones requeridas	Número de observaciones tomadas	Tiempo de proceso	Tiempo empleado para toma de muestras	Número de observaciones requeridas	Número de observaciones tomadas	Tiempo de proceso	tiempo empleado para toma de muestras
CORE_B1_1	40	EXPONENTIAL (E)	72	LOCATION	1.55	50 MIN	1	10	1.56	15 MIN	3	5	1.56	10 MIN
				SCALE	0.01									
				LOCATION	0.01									
CORE_B1_2	40	INVERTED WEIBULL	75	SCALE	1.36	50 MIN	1	10	1.36	15 MIN	3	5	1.36	10 MIN
				SHAPE	168									
CORE_B1_3	40	EXPONENTIAL (E)	96	LOCATION	1.29	50 MIN	1	10	1.303	15 MIN	3	5	1.303	10 MIN
				SCALE	0.01									
				LOWER ENDPOINT	1.46									
CORE_B1_4	40	JOHNSON SB	84.38	UPPER ENDPOINT	1.51	50 MIN	1	10	1.474	15 MIN	3	5	1.474	10 MIN
				SHAPE #1	0.89									
				SHAPE #2	1.25									
				LOCATION	1.22									
CORE_B1_5	40	WEIBUL (E)	77	SCALE	0.18	50 MIN	1	10	1.398	15 MIN	3	5	1.398	10 MIN
				SHAPE	39.1									

CORE_B2	40	BETA	85.48	LOWER	1.75	50 MIN	4	5	2.12	15 MIN	4	5	2.12	15 MIN
				ENDPOINT										
				UPPER	2.21									
				ENDPOINT										
				SHAPE #1	6.56									
SHAPE #2	0.86													
CORE_c1	30	WEIBUL (E)	85	LOCATION	2.87	35 MIN	1	5	2.99	15 MIN	3	10	2.99	25 MIN
				SCALE	0.14									
				SHAPE	4.86									
CORE_C2	30	LOG-LAPLACE	100	LOCATION	2.41	35 MIN	5	5	2.64	15 MIN	8	10	2.64	25 MIN
				SCALE	0.17									
				SHAPE	2.19									
MOLDEO D1_1	20	INVERTED WEIBULL (e)	93	LOCATION	6.11	60 MIN	1	5	6.26	35 MIN	3	5	6.26	40 MIN
				SCALE	0.1									
				SHAPE	4.7									
				LOCATION	0									
MOLDEO D1_2	20	LOG-LAPLACE	100	SCALE	6.31	60 MIN	1	5	6.28	35 MIN	3	5	6.28	40 MIN
				SHAPE	228									

MOLDEO D2	15	LOG-LOGISTIC (E)	100	LOCATION	7.17	60 MIN	16	10	7.71	50 MIN	30	5	7.71	40 MIN
				SCALE	0.27									
				SHAPE	2.22									
				LOCATION	0									
CTE_J	60	LOG-LAPLACE	98.86	SCALE	0.58	30 MIN	220	10	0.5853	15 MIN	296	5	0.5853	10 MIN
				SHAPE	12.7									
				LOCATION	0									
INSPECCION_K_1	40	LOGNORMAL	81.67	SCALE	1.55	40 MIN	5	10	1.507	20 MIN	8	5	1.507	10 MIN
				SHAPE	0.04									
				LOCATION	9.34									
INSPECCION_K_2	15	WEIBULL (E)	87.5	SCALE	0.16	70 MIN	4	5	9.646	75 MIN	4	5	9.646	60 MIN
				SHAPE	0.81									
				LOWER ENDPOINT	7.22									
INSPECCION_K_3	15	JOHNSON SB	98.15	UPPER ENDPOINT	8.95	70 MIN	3	5	8.531	75 MIN	3	5	8.531	60 MIN
				SHAPE #1	-1.78553									

