

EL USO DEL MUESTREO ESTADÍSTICO EN LA MEDICIÓN DEL TRABAJO

RESUMEN

El presente artículo muestra la importancia de realizar en forma adecuada y confiable las mediciones (de la variable tiempo) de una actividad industrial con miras al cálculo del tiempo estándar a través de un adecuado registro del tiempo promedio observado y el tiempo normalizado. Se destaca la importancia del uso del muestreo probabilístico, como método científico necesario, en el cálculo del número de veces que debe observarse una actividad.

PALABRAS CLAVE: Tiempo estándar, tiempo promedio observado, tiempo normalizado, muestreo probabilístico.

ABSTRACT

Sometimes we need to compute the standard time of an industrial process through a suitable recording of the average observed time and of the normalized time. This paper shows how important it is to take measurements of the variable time precisely and accurately. We emphasize the importance of probabilistic sampling as a scientific method for getting the number of times an activity should be observed.

KEYWORDS: Standard time, Average observed time, Normalized time, Probabilistic sampling

1. INTRODUCCIÓN

Para cualquier disciplina es indispensable poder medir las actividades que se realizan al interior de ella. El estudio del trabajo no podía ser la excepción, pues, esta actividad que a diario se lleva a cabo en miles de empresas de todo el mundo, parte de esa base: Medir lo observado. Para la Organización Internacional del Trabajo (OIT) -“*El estudio del trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a las funciones que se están realizando*”¹-

La definición anterior, pone de relieve el análisis de los métodos de cada una de las tareas que se realizan y los tiempos que deben ser empleados para su ejecución. Se desprende de ella, la necesidad científica de establecer un estado actual y otro que puede llamarse propuesto y mejorado.

A través de ese proceso implícito (pasar de un estado al otro) existe la necesidad de medir y tomar datos. El grado de exactitud con que se registren los hechos es la base para hacer el examen crítico de un método y así poder idear uno mejor al existente. Estos registros, pueden hacerse de múltiples formas, entre ellas están los escritos,

los procedimientos gráficos (diagramas), los vídeos y las fotografías.

Cualquiera que sea la técnica de registro se necesita observar muchas veces la tarea en cuestión, situación esta que la Ingeniería Industrial ha afrontado observando el todo a través de las partes constitutivas (elementos) y propias de la actividad o tarea específica, ya sea desde el estudio de tiempos propiamente dicho o del muestreo del trabajo que cada vez se hace más indispensable.

Nada más asistémico claro está, pero estos ELEMENTOS se seleccionan para facilitar la observación, la medición y análisis de cualquier proceso, ya que a la sucesión de elementos necesarios para efectuar una tarea u obtener una unidad de producción se le denomina Ciclo de Trabajo, y es éste último, al fin y al cabo, quién permitirá planear y programar las operaciones.

2. EL USO DEL MUESTREO EN LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN.

En la medición del trabajo una vez establecida la unidad que debe ser medida (unidad muestral) y la característica que debe observarse, se hace necesario para la utilización del muestreo en la consecución de la información tendiente a satisfacer unos objetivos preestablecidos dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿De cuantas unidades se compone el colectivo (población) del cual se extraerá la muestra?

PABLO CÉSAR MANYOMA.

Ingeniero Industrial
Profesor Auxiliar
Universidad del Valle
manyoma@pino.univalle.edu.co

RAFAEL A. KLINGER A.

Estadístico
Profesor Asistente
Universidad del Valle
rakling@pino.univalle.edu.co

¹ Introducción al estudio del trabajo. Oficina Internacional del Trabajo Ginebra. 4a. Edición (revisada). Limusa. 2000. Este punto de vista es desde la Ingeniería Industrial, enfoque que es diferente si se mira desde otras disciplinas

Fecha de Recepción: 18 Julio de 2006

Fecha de Aceptación: 23 Noviembre de 2006

- ¿Qué indicador poblacional (parámetro) constituye el objeto central de conocimiento?
- ¿Qué margen de error (por encima o por debajo) se hace tolerable para la estimación del parámetro?
- ¿Con qué nivel de confianza se espera el cumplimiento del error preestablecido?
- ¿Se dispone de información adicional (características correlacionadas con la característica analizada; resultados de estudios anteriores, etc.)?
- ¿De cuánto dinero se dispone para la toma de la información?
- ¿Bajo qué restricciones de tipo metodológico, legal y de tiempo se debe realizar el estudio?

Así mismo se debe tener presente que el método que se escoja para la obtención de la muestra en una población debe estar diseñado sobre el conocimiento de esta. Es aconsejable para la misma situación plantear varios escenarios y decidir sobre la base de costo-beneficio y practicidad.

La confianza que se debe tener en el muestreo probabilístico como herramienta básica para la obtención de información con miras a inferir sobre una población, está fundamentada en lo siguiente:

- La muestra es contextual: Todo trabajo con muestras requiere un conocimiento previo del universo o población de la cual se extraerá la muestra.
- La similitud entre las unidades que conforman una población objeto de estudio no son propiedades dadas sino distinciones hechas por el investigador pues es este quien decide que observar sobre la base de lo conocido.
- La variable aleatoria media muestral \bar{X}_n , se distribuye normal, esto es $\bar{X}_n \cong N(\mu, \sigma^2/n)$ cuando el tamaño de una muestra aumenta. Dicho de otra forma, la distribución de la media muestral se comporta como una normal con media μ y varianza σ^2/n sin importar la distribución poblacional de la cual se extrajo la muestra a medida que n aumenta. Esta propiedad de la media muestral se conoce con el nombre de TEOREMA DEL LÍMITE CENTRAL siendo μ y σ^2 los parámetros de la característica observada en la población.
- A medida que el tamaño de muestra se incrementa, la diferencia entre la media muestral (estimación) y la media poblacional (media verdadera ó parámetro) disminuye, es decir se obtiene cada vez una mejor precisión (acercamiento a la verdad). Esta última propiedad se llama LEY DE LOS GRANDES NÚMEROS.

- Al usar \bar{X}_n con muestras pequeñas se producen estimaciones que aunque son insesgadas y eficientes en materia de costos, presentan varianzas comparativamente mayores respecto de las que se obtendrían con tamaños de muestras grandes. En consecuencia con lo anterior al realizar inferencias con muestras pequeñas en una población $N(\mu, \sigma)$ con varianza desconocida, se recurre a la distribución t-Student, esto es:

$$\left[\frac{\bar{X}_n - \mu}{\sqrt{s^2}} \right] \sqrt{n} \cong t - student$$

- El tamaño de una muestra (n) no depende sustancialmente del tamaño de la población (N) esto es, dos poblaciones ampliamente diferentes en cuanto a su tamaño pueden requerir el mismo tamaño de muestra. Este hecho puede verificarse observando que si la población es muy grande (infinita) con respecto a la muestra, entonces la llamada fracción de muestreo o intensidad del muestreo $f = n/N$ es despreciable.
- El tamaño de una muestra presenta las siguientes dependencias que nos indican a las claras la sensibilidad de ella para la obtención de estimaciones sobre parámetros desconocidos:

Factores que determinan el tamaño de una muestra			
Tamaño de la muestra	Variabilidad de la población	Precisión deseada	Confianza Establecida para que se cumpla la precisión
Dependencia	DIRECTA	INVERSA	DIRECTA

Tabla 1. Dependencias del tamaño de muestra.

De acuerdo con la tabla 1 el tamaño de una muestra crece cuando la población de la cual se desea extraer es muy heterogénea, es decir, la variable objeto de estudio en ella toma valores muy diferentes entre si o lo que es lo mismo difieren de su media global sustancialmente.

De otro lado el tamaño de una muestra crece si el investigador desea una precisión bastante alta, esto es, él desea que la media muestral se parezca mucho a la media poblacional, no importa si la primera es mayor o menor que esta última. Lo que a él le importa es que la diferencia entre las dos no pase de un determinado valor llamado error de muestreo.

Igualmente una alta confiabilidad en el cumplimiento de un determinado error implica muestras grandes.

- En cuanto a los costos resultantes tanto en unidades físicas (destrucción de la unidad, uso de tecnología sofisticada, necesidad de personal altamente capacitado, etc.) como en tiempo (cantidad de unidades medidas y procesamiento de la información obtenida de ellas), tenemos que aceptar que obviamente el muestreo es la mejor alternativa.

Si los aspectos anteriores responsables de la importancia y credibilidad del muestreo probabilístico se verifican en presencia de un proceso de muestreo serio y bien administrado se evitan los sesgos de selección, medición y estimación, los cuales hacen que una investigación por muestreo no adquiera la suficiente validez para la toma de decisiones basadas en sus resultados.

3. APLICACIÓN DEL MUESTREO ALEATORIO SIMPLE (MAS) EN EL CÁLCULO DE UN TIEMPO NORMAL. (Un caso real)

En este apartado se utilizará el MAS para la obtención del tiempo normal empleado en las actividades básicas para la fabricación de envases plásticos.

Caso empresa de envases plásticos²

Generalidades

La organización analizada es una empresa familiar de la ciudad de Santiago de Cali – Colombia que tiene alrededor de 15 años de fundada. El negocio puede definirse como la producción de envases plásticos impresos para la industria cosmética y farmacéutica e impresión tampográfica para publicitar, decorar e identificar todo tipo de artículos de acuerdo a las especificaciones particulares de los clientes.

Productos:

Los principales bienes desarrollados por la empresa aparecen especificados en la tabla 2.

Doble cono		Desmaquillador facial	
Contenido	Gama de colores	Contenido	Gama de colores
30 ml	Rojo	100 ml	Blanco
60 ml	Azul	200 ml	Blanco
120 ml	Verde		
220 ml	Amarillo		
400 ml	Lila		

Tabla 2. Bienes desarrollados por la empresa analizada.

Adicionalmente se prestan los servicios de impresión tampográfica, que es el proceso para decorar e identificar todo tipo de artículos de acuerdo a las especificaciones particulares. El proceso tampográfico se realiza en los siguientes productos: Lapiceros, Vasos, Bolas de navidad, Envases y otros.

Procesos

La empresa analizada posee dos subsistemas claves: Soplado e Inyección y Tampografía.

De acuerdo a esa distribución y a la demanda de los productos elaborados por la empresa, se puede decir que existen 4 procesos fundamentales, dos de ellos conjuntos y los otros independientes: Inyección – Tampografía; Soplado – Tampografía; Soplado; Tampografía.

En el caso de estudio se escogió el proceso de Soplado y Tampografía por que los informes de producción indican que este proceso tiene alrededor del 70% de la producción total.

El proceso de Soplado y Tampografía presenta una serie de problemas que ocasionan serias dificultades para su correcto funcionamiento. Estas dificultades van desde la ausencia de tiempos estándares que permitan planear hasta la carencia de estrategias de mercadeo para fortalecer la organización, pasando por problemas con materias primas, máquinas y mano de obra.

Ya que el artículo tiene como base la medición de trabajo, la situación problemática a desarrollar es la ausencia de tiempos estándares y por esta razón se llevarán a cabo todos los procedimientos planteados teóricamente para hallar esos tiempos necesarios para la planeación de actividades.

Proceso de Soplado y Tampografía

Antes de explicar el proceso es indispensable conocer la materia prima que será empleada en el mismo.

Según las especificaciones del producto pedido por el cliente, se realiza la selección de insumos y se miden de acuerdo a los estándares que posee la empresa para esta actividad. La capacidad del mezclador es la restricción mayor.

Normalmente se pesan y mezclan los siguientes productos y cantidades: 25 kilos polietileno de alta, 150 gr. Pigmento, 10 a 12 kilos material recuperado, 20 gr. EcZn.

Luego se llevan estas cantidades de materia prima al mezclador y se dejan allí aproximadamente por doce (12) minutos para lograr una mezcla homogénea, que luego se almacena al lado de la máquina sopladora para continuar en el proceso.

² El caso es basado en un trabajo desarrollado por los estudiantes LAURA CAROLINA TORRES QUICENO; JULIAN ANDRES GRISALES ORTIZ; LUIS ALFONSO SALAZAR MELENGE; LEONARDO BUSTOS USECHE y LUIS FERNANDO SAAVEDRA CAICEDO; en la asignatura de Organización Industrial durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2004.

Desarrollo del caso

Sabiendo de antemano que lo que se realice en el hallazgo de un correcto tiempo normal para un proceso, puede ser repetido (conservando particularidades), en los otros procesos, se procede a seleccionar la labor de Tampografía como el prototipo por la importancia que ejerce en la diferenciación de esta compañía con el resto del mercado; además se procede a analizar los tiempos del producto DOBLE CONO en la presentación de 400 ml de capacidad.

En esta área de impresión tampográfica se realiza un solo turno, de 8:00 AM a 12:00 M y de 2:00 PM a 6 PM; esto es importante porque así mismo se han tomado los datos respectivos. Las condiciones físicas de trabajo son buenas por que esta área es un salón a prueba de ruido externo, con aire acondicionado, excelente iluminación y sillas ergonómicas.

El método en términos generales es el siguiente: Después del proceso de flameado el envase pasa por la máquina 1 y se imprime el código de barras, después pasa a la máquina 2 donde se imprime la parte principal del envase y finalmente pasa por la banda que lo transporta hacia la zona de empaque, donde se inspecciona y almacena.

Físicamente el área se distribuye según se observa en la figura 1 y consta de 2 máquinas (impresoras) en línea, una banda transportadora y un área de almacenamiento.

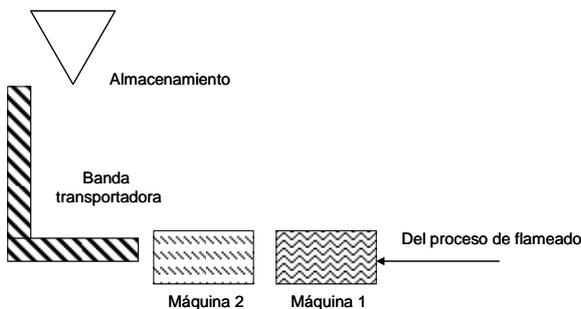


Figura 1. Distribución física del área de Tampografía

Para facilitar la medición del trabajo, se dividió la tarea en 4 elementos básicos:

Elemento 1: La operaria de la máquina 1, toma el envase, revisa la guía, lo ajusta al sistema de enganche, la máquina se lleva el envase y lo imprime, la operaria lo toma de nuevo, hace un control de calidad de impresión y deja el envase en una caja donde aguarda por la siguiente impresión.

Elemento 2: La operaria de la máquina 2 revisa la impresión del código de barras, engancha el envase a la máquina que hace la impresión principal del envase,

luego desengancha el envase después de impreso, hace control de calidad del envase y lo deja en la banda.

Elemento 3: El envase es llevado por la banda, y pasa por el sistema de secado, hasta llegar a la zona de empaque.

Elemento 4: La operaria de empaque toma el envase de la caja donde cae después de pasar por la banda, lo revisa y luego lo introduce en una bolsa donde termina el proceso.

Con el uso del MAS se pretende encontrar el tiempo normal de operación manual de cada subproceso para luego encontrar el tiempo estándar (o de ciclo) de cada modelo que permita adquirir compromisos de producción y para ello se realizan las siguientes precisiones:

La **unidad de muestreo y observación o medición** está constituida en este caso por cada elemento o subactividad desarrollada por el operario dentro de un ciclo de trabajo constitutivo de una actividad principal para la elaboración del producto. Teniendo en cuenta los costos y el tiempo del operario dedicado a la medición de las tareas se decide tomar para cada elemento o subactividad una muestra piloto de 5 observaciones ($n_* = 5$).

El **parámetro involucrado** en la investigación, es el tiempo promedio observado para cada actividad elemental el cual se pretende conocer por medio del tiempo promedio observado muestral, para lo cual se define un **error de muestreo** máximo del 5 % de la media muestral piloto obtenida para la correspondiente actividad elemental investigada dentro de cada actividad principal. Así mismo se desea obtener dicha estimación con un **nivel de confianza** del 95%.

De acuerdo con lo anterior se obtiene la información mostrada en las tablas 3, 4, 5, y 6 en el estudio piloto realizado para cada elemento básico (todos los tiempos están dados en segundos por envase):

	1	2	3	4	5
Tiempo observado	3,875	3,605	3,683	3,477	3,950
Valoración (%)	95	100	100	95	95
Tiempo normal	3,681	3,605	3,683	3,3303	3,753

Tabla 3. Tiempos de la muestra piloto para el elemento 1

	1	2	3	4	5
Tiempo observado	3,602	3,795	3,680	3,683	3,445
Valoración (%)	100	95	100	95	100
Tiempo normal	3,602	3,605	3,680	3,498	3,445

Tabla 4. Tiempos de la muestra piloto para el elemento 2

	1	2	3	4	5
Tiempo observado	4,715	4,715	4,715	4,715	4,715

Tabla 5. Tiempos de la muestra piloto para el elemento 3

	1	2	3	4	5
Tiempo observado	4,125	6,230	5,741	4,891	5,690
Valoración (%)	100	95	100	95	100
Tiempo normal	4,125	5,607	5,167	4,891	5,121

Tabla 6. Tiempos de la muestra piloto para el elemento 4

El elemento 3 corresponde al tiempo de banda (elemento de máquina), en la cual la velocidad es constante, por lo que simplemente se toma cuanto se demora en recorrer el envase el túnel de la banda y ese sería su Tiempo Normal.

De acuerdo con los hallazgos del estudio piloto y las exigencias establecidas para la obtención del número de observaciones que deben realizarse finalmente en cada actividad elemental (tamaño de muestra n_i) se obtiene la información mostrada en la tabla 7.

Elemento	T.N. medio	\hat{S}_i^2	n_i	(1) $n_i = \frac{t_{\alpha/2}^2 \cdot S_i^2}{d_i^2}, i = 1, 2, \dots$ $t = 2,778; d = (0.05) \cdot T.N$
1	3,605	0,0312	7	
2	3,566	0,0088	2	
4	4,982	0,2967	37	

Tabla 7. Número de observaciones requeridas

Como puede apreciarse en la tabla 7, el tamaño de muestra (n_i) depende directamente de la variabilidad de las mediciones realizadas en el estudio piloto, la cual se obtiene para cada elemento i , mediante la expresión (2).

$$(2) S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_j - \bar{x}_i)^2; n_i = 5$$

Nota: Las ecuaciones (1) y (2) son tomadas de Cochran páginas 110 y 50 respectivamente.

De acuerdo con el número de observaciones a realizar se puede concluir que el Tiempo Normal del elemento 2 ya se encuentra hallado, puesto que la nueva n no supera la prueba piloto realizada.

Con este procedimiento se da garantía de que el Tiempo Estándar resultante de la aplicación de estos tiempos normalizados tendrá una alta confiabilidad basado en el número de observaciones que se deben hacer y no de las que se quisiesen hacer.

Para el elemento 1 se tomaron 2 mediciones adicionales las cuales dieron un T.N. medio nuevo de 3,714 minutos; y para el elemento 4 se toman 32 mediciones más para completar la exigencia del número de observaciones, dando como resultado el tiempo normal que aparece en la tabla 8.

	1	2	3	4	5
Tiempo observado	4,125	6,230	5,741	4,891	5,690
Valoración (%)	100	90	90	100	90
Tiempo normal	4,125	5,607	5,167	4,891	5,121

	6	7	8	9	10
Tiempo observado	5,126	4,654	6,756	5,085	4,894
Variación (%)	110	100	95	110	100
Tiempo normal	5,639	4,963	6,418	5,594	4,894
	11	12	13	14	15
Tiempo observado	5,069	4,963	6,03	4,982	4,096
Valoración (%)	110	100	100	100	120
Tiempo normal	5,576	4,963	6,030	4,982	4,915
	16	17	18	19	20
Tiempo observado	3,891	4,036	4,876	4,862	5,251
Valoración (%)	120	110	110	90	100
Tiempo normal	4,669	4,440	5,364	4,376	5,251
	21	22	23	24	25
Tiempo observado	5,223	4,985	5,734	3,812	5,815
Valoración (%)	100	90	110	94	95
Tiempo normal	5,223	4,487	6,307	3,431	5,525
	26	27	28	29	30
Tiempo observado	3,805	6,474	5,403	6,191	4,033
Valoración (%)	100	100	110	100	110
Tiempo normal	3,805	6,474	5,943	6,191	4,437
	31	32	33	34	35
Tiempo observado	5,904	5,129	6,518	6,757	5,867
Valoración (%)	100	100	120	120	110
Tiempo normal	5,904	5,129	7,821	8,108	6,454
	36	37			
Tiempo observado	4,480	4,756			
Valoración (%)	110	100			
Tiempo normal	4,928	4,756			
TN Medio	5,336				

Tabla 8. Total de tiempos de mediciones considerados para el elemento 4

En resumen después de aplicar la metodología planteada y encontrar las mediciones adicionales en los elementos que así lo requieren se presentan en la tabla 9, los Tiempos Normales Medios (redondeados a décimas) para los elementos de la tarea analizada.

Elemento	TN medio requerido (Segundos)
1	3,6
2	3,6
3	5,0
4	5,3

Tabla 9. Tiempos Normales Medios requeridos por elemento

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El mejor método de muestreo utilizado en este caso es el Muestreo Aleatorio Simple (MAS) para variables en poblaciones infinitas cuando el propósito es la estimación de un promedio poblacional.

La realización de una actividad elemental, a lo largo del tiempo, formará una población infinita y por tal razón el tamaño de muestra calculado para las actividades elementales no requiere ajuste por tamaño de población.

El número de observaciones n debe ser hallado para cada elemento componente del proceso analizado, y mientras la tarea lo permita debe primar, en el hallazgo de n , el tiempo normal sobre el tiempo observado.

Si por algún motivo el n encontrado es menor que la prueba piloto tomada, no se deben descartar datos para cumplir con aquel n . Este procedimiento puede conducir a algunos errores en el hallazgo del tiempo estándar final.

Dado que para cada actividad elemental hay un error deseado d_i y variabilidades S_i^2 diferentes es natural que se obtengan tamaños de muestra diferentes. Para estandarizar las actividades de toma de información y facilitar el uso de los cálculos mediante una hoja de cálculo Excel se recomienda de ser posible asumir para todas las actividades el tamaño de muestra mayor encontrado ya que así estarán cumpliéndose todas las exigencias y condiciones del muestreo.

El tiempo estándar de cada actividad elemental, dentro de cada actividad principal y de todo el conjunto de actividades requeridas en la elaboración del producto se debe reajustar periódicamente debido a la destreza que los empleados van adquiriendo por efecto de su trabajo y de las mejoras en instrumentos y condiciones de trabajo dentro de la actividad principal.

Para evitar errores no muestrales (no dependen de la muestra) es necesario capacitar al personal que realizará la toma de información así como dotarlo de todos los materiales adecuados para un excelente desempeño de su labor.

La toma de datos debe hacerse en las condiciones normales de la realización de cada actividad y en un momento aleatorio que puede ser definido por las condiciones mismas del trabajo: al inicio del turno, al final del turno y después del descanso entre otras.

La determinación de tiempos debe integrar programas de mejoramiento que vayan dirigidos a la solución de problemas y no al simple despido de personas en una organización.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1]. COCRHAN, William. Técnicas de muestreo. CECSA. México, 1980.

[2]. ESCUDER, Roberto y Méndez, Salvador. Métodos de muestreo estadístico aplicados a la auditoría. Editorial Tirant Lo Blanch. España, 2002.

[3]. HODSON, William. Manual del ingeniero industrial. Editorial McGraw Hill. México, 1998.

[4]. MANYOMA V. Pablo César. Una aproximación al estudio del trabajo y sus utilidades. Serie monografías. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística. Universidad del Valle, 2003.

[5] MENDENHALL, William, Beaver Robert, Beaver Barbara. Introducción a la probabilidad y estadística. Ed. Thomson. México, 2002.

[6]. NIEBEL Benjamín y Freivalds Andris.. Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo. Décima edición. Alfaomega grupo editor. México, 2004.

[7]. Organización internacional del trabajo. Publicado con la dirección de George Kanawaty. Introducción al estudio del trabajo. Editorial Limusa. México, 2000.

[8]. PÉREZ, César. Técnicas de muestreo estadístico. Alfaomega. México, 2000.