

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Industrial



Predicción de tiempos estándar en líneas de ensamble usando mínimos cuadrados en modelos lineales multivariados.

Trabajo de titulación, previo a la obtención
del título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR:

Ing. Noé Rodrigo Guamán Guachichullca, Mgs.

C.I. 0105291595

AUTOR:

Jhon Sleiter Ramírez Vargas

C.I. 1106090333

Cuenca-Ecuador

2018



RESUMEN.

En la actualidad, el alto entorno competitivo de las industrias de ensamblaje ha sido motor para que las mismas busquen factores diferenciadores que les permitan mejorar su eficiencia. Uno de estos factores lo constituye el estudio de métodos (referido al análisis y examen crítico y sistemático de cómo se realiza una tarea en la actualidad, facilitando encontrar métodos más eficaces) y tiempos, que permite aliviar aspectos internos y externos que afectan la productividad, toda vez que proporciona bases para la toma de decisiones gerenciales. El presente trabajo posee dos objetivos básicos, en primera instancia el cálculo de tiempos estándar dentro del área operativa y, adicionalmente, el desarrollo de un modelo matemático para predicción de tiempos. Para el cumplimiento de estos propósitos, se estableció un marco conceptual referencial acerca del estudio de tiempos y del modelo de regresión lineal múltiple, para después elaborar el procedimiento a seguir para el desarrollo del modelo matemático de predicción, conjuntamente con su validación. El estudio concluye con una discusión sobre la importancia de disponer de modelos para estimar tiempos estándar en la toma de decisiones empresariales, y el establecimiento de conclusiones relevantes.

PALABRAS CLAVES: TIEMPOS; PROCESOS; CELDAS DE TRABAJO; ENSAMBLE; REGRESIÓN LINEAL.



ABSTRACT.

Currently, the high competitive environment of the assembly industries has been an engine for them to seek differentiating factors for improving their efficiency. One of these factors is the study of methods (referred to the analysis and critical and systematic examination of how a task is carried out at present, facilitating to find more effective methods) and times, which allows alleviating internal and external aspects that affect productivity, since it provides the basis for management decision making. The present work has two basic objectives; firstly, the calculation of standard times within the enterprise operative area and, additionally, the development of a mathematical model for time prediction. For the fulfillment of these purposes, a referential conceptual framework was established about the study of time and multiple linear regression model, to then elaborate the procedure to follow for the development of the mathematical model of prediction, together with its validation. The study concludes with a discussion on the importance of having models to estimate standard times in business decision making, and the establishment of relevant conclusions.

KEYWORDS: ASSEMBLE; LINEAR REGRESSION; PROCESSES; TIMES; WORK CELLS



INDICE

1.	Introducción.	7
2.	Marco referencial.	8
3.	Materiales y métodos.	11
4.	Metodología.	12
5.	Resultados.	17
6.	Discusión.	19
7.	Conclusiones.	20
	Agradecimiento.	21
	Referencias.	21
	Anexos.	24



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jhon Sleiter Ramírez Vargas en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Predicción de tiempos estándar en líneas de ensamble usando mínimos cuadrados en modelos lineales multivariados", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de Octubre del 2018

Jhon Sleiter Ramírez Vargas

C.I: 1106090333



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jhon Sleiter Ramírez Vargas, autor/a del trabajo de titulación "Predicción de tiempos estándar en líneas de ensamble usando mínimos cuadrados en modelos lineales multivariantes" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 4 de Octubre del 2018

Jhon Sleiter Ramírez Vargas

C.I: 1106090333



1. Introducción.

Las empresas ensambladoras ecuatorianas enfrentan desafíos cada vez más complejos generados tanto por factores externos como internos; Por ejemplo, en el sector de las ensambladoras de motocicletas ha habido pérdida de plazas de mercado como resultado de políticas gubernamentales, que en conjunto con el dinamismo de la economía ecuatoriana, el bajo poder adquisitivo de los ciudadanos y la elevada tasa de desempleo, han generado una disminución en las ventas y por ende en la producción de motocicletas (Landázuri, 2016). Igualmente, la industria automotriz ha sido impactada por políticas que afectan su capacidad de competir equitativamente con vehículos importados, que ingresan al país con 0% de aranceles (Morales, 2018). Además de los factores externos expuestos, las industrias de ensamble también presentan desafíos ocasionados por factores internos, como recursos limitados y baja productividad, que ocasionan un desempeño empresarial ineficiente, reflejado en pérdidas económicas y de participación en el mercado. Los aspectos más representativos de la baja productividad son: reprocesos, mala administración de recursos, mal manejo de métodos y tiempos muertos (Cardona, 2016). También, la disminución de la productividad está muy influenciada por una excesiva exigencia del esfuerzo de operarios (Huertas y Domínguez, 2016). Estos factores se pueden resumir en términos de un incorrecto estudio de trabajo.

La ingeniería de métodos representa una concepción sistemática para el desarrollo de estrategias que permiten aumentar la productividad en las industrias de ensamblaje, optimizando en gran medida sus recursos y facilitando herramientas para elevar niveles de competitividad. A través de los años, la ingeniería de métodos ha desarrollado técnicas de mejora enfocadas al estudio de trabajo, en busca de solventar los problemas relacionados con la inadecuada administración de tiempos y movimientos. El principal objetivo del estudio de trabajo es detectar, reducir y/o eliminar los tiempos improproductivos mediante la creación de estándares para la ejecución de tareas (Baca *et al.*, 2014).

Este trabajo contempla dos aspectos básicos íntimamente relacionados que, según Rico *et al.* (2015) son: estudio de métodos y estudio de tiempos. Por medio del estudio de métodos se analizan los movimientos que realiza un operario al ejecutar una tarea con el objetivo de encontrar mejoras para reducir el tiempo de operación al mínimo posible (Cardona, 2016; Rojas, 2015); mientras que en el estudio de tiempos se toma como insumos sus mediciones para determinar tiempos óptimos, es decir el lapso que le toma a un trabajador capacitado realizar una actividad específica (Hodson, 2001). Además, con el establecimiento de tiempos estándar es posible realizar la planificación de la producción, cálculo de costos, productividad, entre otros; por lo que es fundamental enfocarse en el estudio de tiempos para elevar el nivel de



competitividad. A su vez, debido a los cambios que ocurren en el sector industrial de ensamblaje es preciso desarrollar herramientas que permitan prever el comportamiento interno de los procesos, mediante la ayuda de las diversas herramientas presentes dentro de la ingeniería como los modelos de regresión.

2. Marco referencial.

El avance industrial y tecnológico condujo al desarrollo de nuevas herramientas para facilitar el trabajo del analista de tiempos (Rico *et al.*, 2015), permitiendo la concepción de técnicas para la determinación de tiempos estándar. Este cálculo se puede obtener mediante las siguientes alternativas: (1) estimaciones realizadas por analistas, (2) registros históricos, (3) sistema de tiempos predeterminados, y (4) estudio de tiempos con cronómetro (Baca *et al.*, 2014).

Las estimaciones realizadas por analistas se basan en la experticia de una persona capacitada para determinar el tiempo estándar más ajustado a la realidad de una actividad (Niegel y Freivalds, 2009). La determinación de tiempos estándar T_E , mediante la técnica de registros históricos se basa en datos de tiempos de tareas realizadas en el pasado. Para esto se toman en consideración tres tiempos: tiempo óptimo o tiempo optimista T_o , tiempo modal o tiempo más probable T_m y tiempo más abultado o tiempo pesimista T_a . Para el cálculo del tiempo estándar se utiliza una media ponderada de los valores mencionados, de acuerdo a la fórmula dada por la ecuación 1 (Caso, 2006):

$$T_E = \frac{T_o + 4T_m + T_a}{6}$$

Ecuación 1: Tiempo estándar por media ponderada.

Una de las técnicas más avanzadas para el estudio de tiempos es la llamada Sistemas de Tiempo Predeterminado, que se fundamenta en la utilización de bases de datos con información sobre movimientos y sus respectivas duraciones para el establecimiento de tiempos estándar (Baca *et al.*, 2014).

El estudio de tiempos con cronómetro constituye la principal técnica para la medición de trabajos. Es un método directo puesto que el cálculo del tiempo estándar se basa en la observación y cronometraje de las diversas actividades en un determinado número de ciclos (Baca *et al.*, 2014). Los elementos básicos para llevar a cabo este estudio de tiempos son: cronómetro, formulario de estudio de tiempos y tablero de observaciones (Kanawaty, 1996). El



estudio de tiempos con cronómetro se puede dividir en cuatro pasos básicos: preparación, ejecución, valoración y determinación de suplementos (García *et al.*, 2009); sin embargo, la Organización Internacional del Trabajo resume estos pasos en tres: selección del trabajo a estudiar; registro por observación directa del proceso y cálculo del tiempo estándar (Kanawaty, 1996).

Los estándares de tiempo son un insumo indispensable para la correcta toma de decisiones (Meyers, 2000) y por tal razón son factores muy importante a ser considerados. Con este argumento, es necesario determinar modelos de predicción que permitan obtener tiempos estándar sin requerimiento de volver a realizar estudios de campo.

En virtud de lo expuesto es necesario recurrir a herramientas de ingeniería que faciliten la toma de decisiones, siendo una de ellas la estadística; particularmente para identificar relaciones existentes entre diversas variables. Dentro de las técnicas que posee la estadística para la modelización de procesos se encuentran los modelos de regresión lineal, que permiten cuantificar el vínculo entre una o más variables dependientes en función de valores adoptados por variables independientes o regresores (Castillo, 2013; Spiegel *et al.* 2003).

Para estimar el comportamiento del valor de la variable dependiente y en función de los valores de las variables independientes $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$, es necesario la construcción de un modelo matemático del proceso descrito por la Ecuación 2, tomando como base un conjunto de observaciones $y_i, i = 1, 2, \dots, n$, realizadas sobre el proceso productivo. Al valor estimado de la variable dependiente se le denominará y_e , que puede ser representado por el modelo matemático lineal, algebraico, dado por la Ecuación 3.

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$$

Ecuación 2: Modelo matemático general.

$$y_e = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_p x_p$$

Ecuación 3: Modelo lineal algebraico.

Si se define al vector de coeficientes $\vec{\beta} = (\beta_0 \beta_1 \beta_2 \dots \beta_p)^T$ y al vector de variables $\vec{x} = (1, x_1, x_2, \dots, x_p)^T$, entonces la Ecuación 3 puede ser reescrita en forma vectorial como aparece en la Ecuación 4.

$$y_e = \vec{\beta}^T \vec{x}$$

Ecuación 4: Representación vectorial de la Ecuación 3.



A cada observación y_i le corresponde un vector \vec{x}_i , de modo que la concatenación de los vectores $\vec{x}_i, i=1, 2, \dots, n$ permite definir la matriz $(p \times n)$ de valores $X = (\vec{x}_1 \vec{x}_2 \dots \vec{x}_n)$. A su vez, las observaciones $y_i, i=1, 2, \dots, n$ serán concatenadas en un vector de observaciones $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$. Los coeficientes $\beta_i, i=0, 1, \dots, p$ deben ser calculados apropiadamente por medio de un procedimiento de optimización, por tal motivo el cálculo de los coeficientes del vector β se realiza mediante el método de mínimos cuadrados, definiendo una función objetivo que refleje las diferencias cuadráticas entre las mediciones y el valor estimado, tal como aparece definida en la Ecuación 5.

$$J = \frac{1}{2}(y_i - y_{ei})^2$$

Ecuación 5: Función objetivo.

La Ecuación 6 constituye la solución al problema de minimizar la función objetivo.

$$\vec{\beta} = (X^T X)^{-1}(X^T \vec{y})$$

Ecuación 6: Valor calculado del vector de coeficientes.

Una vez calculado el vector de coeficientes β es necesario calcular la correlación existente entre la variable dependiente y las variables independientes, para esto es necesario calcular el coeficiente de determinación R^2 usando la fórmula dada por la Ecuación 7.

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T}$$

Ecuación 7: Coeficiente de determinación

En la Ecuación 7, SS_R representa la suma de cuadrados de la regresión dada por la Ecuación 8, mientras que SS_T es la suma de cuadrados totales dada por la Ecuación 9.

$$SS_R = \beta^T X^T y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

Ecuación 8: Suma de cuadrados de la regresión.

$$SS_T = y^T y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

Ecuación 9: Suma de cuadrados totales.



El valor del coeficiente de determinación pertenece al intervalo $[0, 1]$ y su interpretación es la siguiente: mientras más cercano a 1 sea el valor de R^2 , mejor será la estimación dada por la Ecuación 4, caso contrario la estimación será poco precisa, por lo que es necesario buscar valores de R^2 lo más cercanos a 1 (Uriel, 2013). El coeficiente de correlación lineal muestral permite identificar la influencia que una variable independiente ejerce sobre la variable dependiente. Este coeficiente, definido por medio de la Ecuación 10, es una buena medida de la bondad del ajuste de la recta de regresión y sus valores pertenecen al intervalo $[-1, 1]$.

$$r^2 = \frac{S^2_{xy}}{S^2_x S^2_y}$$

Ecuación 10: Coeficiente de correlación lineal muestral.

En donde:

S^2_{xy} = Covarianza de xy

S^2_x = Desviación estándar de x

S^2_y = Desviación estándar de y

Si el valor de r^2 es igual a 1 entonces habrá una relación lineal exacta entre la variable independiente y la variable dependiente.

3. Materiales y métodos.

El presente estudio contempla el análisis actual de un planta ensambladora de motocicletas, por lo cual, en primera instancia se parte de los procesos levantados por Benavidez y Segarra (2018) (Ver Anexo 1) información obtenida del proyecto “Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamblaje” para a continuación realizar el estudio de tiempos con cronómetro.

Seguidamente, al ser el objetivo principal la construcción de modelos matemáticos lineales que sirvan como instrumentos para predecir tiempos estándar, se utilizaron variables relacionadas al ambiente de trabajo y los operarios de la planta ensambladora de motocicletas, misma que produce siete modelos diferentes y consta de seis celdas de ensamble. En cada celda laboran dos operarios, los cuales realizan tareas simultáneas tanto en la parte delantera como la parte posterior de la motocicleta, lo que permite la correcta terminación del producto.

La población está entonces conformada por cada modelo de motocicleta y todos los operarios dentro del área de ensamble, es decir 12 trabajadores. Se utilizó la codificación M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7 para los modelos de motocicletas, respetando el acuerdo de



confidencialidad establecido con la empresa. Finalmente, se utilizó el sistema programado Microsoft Excel para realizar el cálculo de los coeficientes de regresión.

4. Metodología.

La investigación representa un estudio de caso de tipo longitudinal-no experimental, ya que el analista se encargará del manejo de las variables predeterminadas mediante un número n de observaciones; y de carácter mixto, debido a la necesidad de una revisión documental de las diversas teorías, estrategias y modelos sobre estandarización de tiempos y regresión lineal múltiple, así como una investigación de campo, para el levantamiento de información directamente desde la fuente.

Para el desarrollo del estudio de tiempos se tomó como base la metodología aplicada por la OIT, que está estructurada en tres fases (Kanawaty 1996):

Fase 1. Selección del trabajo o puesto a estudiar. Durante el desarrollo de esta fase se realizó un estudio detallado sobre el proceso de ensamble de los productos; así mismo, mediante observación directa se pudo definir un diagrama de precedencia de las actividades del proceso (Para mayor información, consultar Anexo 2).

Fase 2: Registro del proceso por observación directa utilizando técnicas adecuadas. Una vez seleccionado el puesto de trabajo a estudiar se procedió a dividir el mismo en diversas operaciones y éstas en actividades con un claro inicio y fin. Para determinar el tiempo de ciclo de operación se procedió a tomar una muestra inicial, para luego determinar el número de ciclos a cronometrar mediante el uso de la tabla generada por la metodología General Electric, la cual brinda el número de observaciones necesarias en función de la duración del ciclo del proceso (García, 2005) (Consultar Anexo 3), que para este caso particular recomienda tres observaciones; sin embargo, para una mejor interpretación de los datos reales se realizaron cinco observaciones.

Conocido el número de observaciones se procedió al registro de tiempos mediante el uso de tres instrumentos básicos: cronómetro, tablero de observaciones y formulario de estudio de tiempos (Kanawaty 1996). Para propósitos ilustrativos, la Tabla 1 muestra un registro de tiempos observados en la parte posterior de las motocicletas, en la Celda 1.

Finalmente, fue necesario el cálculo del tiempo normal T_N , que representa la calificación del ritmo de trabajo del operario al realizar una tarea. Éste es definido como: “tiempo que le toma a un operario calificado realizar cierta tarea o actividad a una velocidad estándar, sin que existan



demoras por situaciones personales o externas” (García Vanessa et al., 2009). El tiempo normal se calcula usando la Ecuación 11.

Tabla 1. Tiempos observados en la parte posterior de la celda 1

	Observaciones					Tiempo
	1 (min)	2 (min)	3 (min)	4 (min)	5 (min)	Observado Promedio T_{Op} (min)
M1	70.31	70.04	69.97	70.62	70.14	70.21
M2	78.39	77.47	75.62	77.89	78.56	77.59
M3	54.18	52.47	52.42	52.88	52.29	52.85
M4	49.00	49.19	49.19	49.60	47.14	48.82
M5	59.91	57.00	59.95	56.80	58.52	58.44
M6	57.48	57.53	57.73	56.65	57.72	57.42
M7	66.66	64.08	63.99	64.97	64.84	64.91

$$T_N = T_{Op} \times C$$

Ecuación 11: Tiempo normal.

Donde:

T_N = Tiempo normal

T_{Op} = Tiempo observado promedio

C= Calificación de desempeño.

La asignación del ritmo de trabajo de los operarios se realizó mediante el método Westinghouse. El método, desarrollado por Westinghouse Electric Corporation, toma en consideración cuatro elementos para la valoración del ritmo de trabajo: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia (García, 2005) (Para mayor referencia, consultar Anexo 4). Este método proporcionó los datos de la Tabla 2 para la “Calificación de desempeño” de cada operario.



Tabla 2. Sistema de Calificación Westinghouse.

Operarios	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Calificación
Operario 1	0.03	0.02	0	0.03	1.08
Operario 2	0.06	0.08	0	0.03	1.17
Operario 3	0.03	0.02	0	0.01	1.06
Operario 4	0.06	0.02	0	0.01	1.09
Operario 5	0.06	0.06	0	0.03	1.15
Operario 6	0.03	0.02	0	0.01	1.06
Operario 7	0.03	0.06	0	0.01	1.1
Operario 8	0.06	0.06	0	0.03	1.15
Operario 9	0.06	0.06	0	0.01	1.13
Operario 10	0.03	0.06	0	0.01	1.1
Operario 11	0.03	0.02	0	0.01	1.06
Operario 12	0.06	0.02	0	0.03	1.11

La tabla 3 presenta un ejemplo del cálculo del tiempo normal, tomando como base los datos de la Tabla 1 relativos a la celda 1.

Tabla 3. Tiempo Normal Parte Posterior Celda 1

	Tiempo promedio Observado (min)	Calificación	Tiempo Normal (min)
M1	70.21	1.17	82.15
M2	77.59	1.17	90.78
M3	52.85	1.17	61.83
M4	48.82	1.17	57.12
M5	58.44	1.17	68.37
M6	57.42	1.17	67.18
M7	64.91	1.17	75.94

Fase 3. Cálculo de tiempo estándar. Con el conocimiento del tiempo normal se procede al cálculo del tiempo estándar T_E , haciendo uso de la fórmula dada por la Ecuación 12.

$$T_E = T_N (1 + S)$$

Ecuación 12: Tiempo estándar.



En donde:

S = Suplementos

El valor de los suplementos es establecido mediante observación directa en el puesto de trabajo, analizando diversos aspectos como: trabajo de pie, postura indebida, uso de fuerza, intensidad de luz, tensión visual, tensión mental y tedio mental.

Para el desarrollo del modelo de predicción mediante la estructura de un modelo de regresión lineal múltiple se hace necesario seleccionar aquellas variables que tienen más influencia en la determinación del tiempo estándar. Para ese propósito se procedió a analizar los valores de los coeficientes de correlación de cada una de ellas con respecto al tiempo estándar, definido por la Ecuación 10 (Pértega y Pinto, 2000). Como resultado de este análisis fueron seleccionadas cinco variables independientes $x_i, i = 1, 2, 3, 4, 5$, correspondientes a Edad, Peso, Altura, Ruido e Iluminación.

La Tabla 4 incluye valores de coeficientes de correlación de variables independientes con respecto al tiempo estándar, tomando como base la parte posterior del modelo M7.

Nótese que “Iluminación” y “Ruido” son las variables más correlacionadas con la predicción del tiempo estándar, seguidas de “Edad” y “Peso”, mientras que “Altura” incide en menos de un 10% sobre la predicción; sin embargo, al introducir esta variable en el modelo lineal se logró un ajuste importante en los valores de predicción.

Tabla 4. Selección de Variables

Variables	Coefficiente de correlación r^2
Edad	0.137216543
Peso	0.123469244
Altura	0.081088858
Ruido	0.261844676
Iluminación	0.397216472

La Tabla 5 y la Tabla 6 muestran las variables seleccionadas y sus valores medidos, los cuales se encuentran expresados en las siguientes unidades: [edad] → años; [peso] → kilogramos; [altura] → centímetros; [ruido] → decibeles; [iluminación] → luxes.



Tabla 5. Variables independientes parte delantera motocicletas

VARIABLES	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
Edad	38	33	21	19	22	27
Peso	61	63	54	66	66	63
Altura	160	165	164	176	165	165
Ruido	90	94	88	86	93	91
Iluminación	194	187	214	178	189	194

Tabla 6. Variables independientes parte posterior motocicletas

VARIABLES	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
Edad	38	28	30	24	23	23
Peso	54	66	54	56	68	62
Altura	160	175	160	171	163	168
Ruido	90	94	88	86	93	91
Iluminación	194	187	214	178	189	194

Así, haciendo corresponder a la variable dependiente Y_e definida en la Ecuación 4 con el tiempo estándar estimado T_{Ee} , se obtiene el modelo matemático dado por la Ecuación 13, válido tanto para la parte delantera como para la parte posterior de cada modelo de motocicleta.

$$T_{Eel} = \beta_0 + \sum_{i=1}^5 \beta_i x_i \quad l = 1, 2, \dots, 7$$

Ecuación 13: Modelo matemático para la estimación del tiempo estándar.

Al definir el vector $\vec{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5)^T$ y al vector $x = (1, x_1, \dots, x_5)^T$ se puede representar a la Ecuación 13 en la forma vectorial dada por la Ecuación 14.

$$T_{Ee} = \vec{\beta}^T \vec{x}$$

Ecuación 14: Forma vectorial del modelo matemático de estimación.

Los valores de los parámetros del modelo se obtienen de minimizar la función objetivo dada por la Ecuación 15.

$$J_l = \frac{1}{2} (T_{El} - T_{Eel})^2 \quad l = 1, 2, \dots, 7$$



Ecuación 15: Función objetivo.

5. Resultados.

Las Tabla 7 y 8 incluyen los tiempos estándar obtenidos a partir de la Ecuación 12 para los modelos de motocicletas considerados.

Tabla 7. Tiempo estándar T_E para la parte delantera (min)

CELDAS						
MODELO	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
M1	85.19	84.38	89.96	85.62	88.14	83.80
M2	89.18	89.88	86.80	89.74	91.35	87.15
M3	75.11	75.29	77.79	75.43	76.34	72.06
M4	62.07	58.93	64.14	60.87	58.79	58.49
M5	72.85	73.07	76.56	74.05	74.53	71.16
M6	66.47	63.23	69.27	67.53	68.00	63.68
M7	84.07	83.92	87.41	85.28	87.47	82.40

Tabla 8. Tiempo estándar T_E para la parte posterior (min)

CELDAS						
MODELO	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
M1	95.49	92.68	88.12	93.89	89.94	90.57
M2	107.12	105.65	99.17	107.47	100.31	102.62
M3	72.54	74.70	66.44	69.95	67.83	68.10
M4	67.41	66.91	62.59	65.72	63.42	64.86
M5	80.68	80.02	72.64	78.62	77.38	76.72
M6	79.27	77.66	73.18	78.54	75.00	75.30
M7	83.26	78.88	76.38	82.45	78.53	78.86

La minimización de la función objetivo fue realizada mediante la programación de una hoja de cálculo en el Programa Microsoft Excel, que permite realizar las operaciones matriciales definidas por la Ecuación 15. La Tabla 9 y la Tabla 10 contienen los modelos lineales para la predicción del tiempo estándar para cada motocicleta.



Tabla 9. Modelo de Predicción de Tiempos para Parte Delantera de Motocicletas.

MODELO	Ecuaciones
M1	$T_{Ee} = 815.92 - 1.16x_1 - 2.29x_2 - 1.87x_3 - 0.23x_4 - 1.17x_5$
M2	$T_{Ee} = 660.91 - 0.78x_1 - 1.65x_2 - 1.45x_3 - 0.03x_4 - 1.07x_5$
M3	$T_{Ee} = 921.05 - 1.17x_1 - 2.98x_2 - 1.98x_3 - 0.10x_4 - 1.51x_5$
M4	$T_{Ee} = 592.12 - 0.59x_1 - 1.85x_2 - 1.15x_3 - 0.58x_4 - 0.81x_5$
M5	$T_{Ee} = 721.91 - 0.96x_1 - 2.31x_2 - 1.51x_3 - 0.09x_4 - 1.14x_5$
M6	$T_{Ee} = 957.91 - 1.28x_1 - 2.46x_2 - 2.24x_3 - 0.77x_4 - 1.36x_5$
M7	$T_{Ee} = 885.64 - 1.23x_1 - 2.50x_2 - 2.01x_3 - 0.19x_4 - 1.36x_5$

Tabla 10. Modelo de Predicción de Tiempos para Parte Posterior de Motocicletas.

MODELO	Ecuaciones
M1	$T_{Ee} = 88.19 - 0.23x_1 - 1.18x_2 - 0.10x_3 + 1.95x_4 - 0.41x_5$
M2	$T_{Ee} = 66.29 - 0.56x_1 - 1.99x_2 - 0.03x_3 + 3.25x_4 - 0.61x_5$
M3	$T_{Ee} = -16.77 + 0.07x_1 - 0.85x_2 + 0.17x_3 + 1.95x_4 - 0.37x_5$
M4	$T_{Ee} = 0.65 - 0.56x_1 - 1.68x_2 - 0.08x_3 + 3.05x_4 - 0.43x_5$
M5	$T_{Ee} = 54.04 - 0.23x_1 - 1.08x_2 - 0.12x_3 + 2.19x_4 - 0.43x_5$
M6	$T_{Ee} = 77.58 - 0.07x_1 - 0.75x_2 - 0.03x_3 + 1.24x_4 - 0.32x_5$
M7	$T_{Ee} = 120.62 - 0.23x_1 - 0.94x_2 - 0.20x_3 + 1.32x_4 - 0.34x_5$



El uso de la Ecuación 7 para calcular los coeficientes de determinación, permitió realizar un análisis para corroborar la validez de los modelos de regresión construidos. Los resultados numéricos de este análisis aparecen reportados en la Tabla 11.

Tabla 11. Coeficiente de Determinación.

MODELO	R ² Ecuaciones Parte	
	Delantera de Motocicleta	Posterior de Motocicleta
M1	1	1
M2	1	1
M3	1	1
M4	1	1
M5	1	1
M6	1	1
M7	1	1

6. Discusión.

Es bien conocido que el estudio de tiempos representa una disciplina importante para la toma de decisiones, debido a su aporte en el control operacional de las industrias, mismo que sirve como un reflejo de la situación que viven éstas pudiendo dar a conocer situaciones de mejora. En el presente trabajo, se pudo determinar diversas actividades dentro del proceso productivo que no agregan valor por ejemplo transporte y almacenamiento, este último debido a la naturaleza de la planeación de producción manejados dentro de la planta

Referido al tiempo estándar cabe indicar que éste posee una variación significativa con respecto al tiempo observado, misma que oscila entre valores cercanos al 30%. La fluctuación presente es debida a la naturaleza manual del trabajo, mismo que se realiza en celdas de ensamble conformadas por 2 operarios, lo cual representa una fatiga para los mismos, entre otros valores considerados para la determinación de suplementos, dentro del estudio de tiempo con cronómetro.

Cabe mencionar que de acuerdo a un estudio realizado por Ovalle y Cárdenas (2016), el estudio de tiempo con cronómetro posee una participación del 89,5% con respecto a los demás métodos mencionados con anterioridad. Si bien es cierto que existen técnicas más avanzadas como el Sistema de Tiempos Predeterminados, fundamentada en bases de datos para el cálculo del tiempo estándar, la mayoría de analistas de tiempo, optan por la toma de tiempos con



cronómetro que, aunque representa un mayor tiempo de estudio, tiene como principal ventaja el reflejo de la realidad que vive la planta.

Un estudio reciente sugiere la existencia de una relación entre productividad, condiciones de trabajo y medio ambiente, y propone un conjunto de condiciones apropiadas para el buen desempeño de un trabajador (Nicolaci, 2008). Igualmente, es conocido que en la prevención de riesgos ergonómicos se entrelazan la ergonomía y la productividad (CROEM, 2013); así, esos argumentos fueron considerados en la selección de variables cuantitativas y cualitativas para la construcción del modelo de predicción de tiempos, que igualmente constituye un factor íntimamente relacionado con productividad. Como resultado de este planteamiento, las variables Iluminación, Ruido, Edad, Peso y Estatura sirvieron de base para la construcción de modelos de predicción lineal adecuados para estimar tiempos estándar asociados al ensamble de siete modelos de motocicletas.

Si bien es cierto que los modelos de regresión han sido utilizados ampliamente en procesos de manufactura; no hay antecedentes sobre sus usos para la predicción de tiempos en líneas de ensamble.

El análisis de regresión lineal múltiple es fundamental para definir la relación existente entre la variable dependiente y las independientes, para de esta manera emitir estimaciones y predicciones dentro de un intervalo de confianza adecuado. El presente caso muestra una relación perfecta entre las variables independientes seleccionadas (Iluminación, Ruido, Edad, Peso y Estatura) y la variable dependiente (Tiempo estándar) reflejada en la Tabla 11.

El presente estudio sirve como base para futuros análisis sobre predicción de tiempos, en los que sea posible incluir otras variables ergonómicas, como por ejemplo desgaste energético, carga mental y carga en el trabajo, para construir mejores modelos.

7. Conclusiones.

La fijación de tiempos estándar es una técnica que conjuntamente con la medición de trabajo permite determinar tiempos óptimos para operar procesos, minimizando la cantidad de trabajo, eliminando movimientos innecesarios y sustituyendo métodos. Los tiempos estándar facilitan de esta manera la detección y reducción de tiempos improductivos, con el objetivo de generar un mayor valor agregado.

En el presente artículo se propone un modelo de predicción lineal múltiple para predicción de tiempos, cuyo objetivo principal es brindar insumos para la toma de decisiones que permitan el aumento de la productividad. El estudio permitió seleccionar variables



importantes para modelizar el comportamiento del tiempo estándar, y validar los modelos construidos usando el coeficiente de determinación, que proporciona un indicativo de la precisión del ajuste. El enfoque de construcción del modelo es aplicable a otros escenarios empresariales con propósitos predictivos, como el pronóstico de ventas, la tasa de rotación del personal, entre otras posibilidades.

Agradecimiento.

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos de la Industria de Ensamblaje” ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos de Investigación, financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) que hizo posible el presente estudio. De igual manera al personal directivo y operativo de la planta ensambladora de motocicleta que sirvió como caso de estudio.

Referencias.

Baca, G., Margarita, C., Cristobal, M., Gutierrez, J., Pacheco, A., Rivera, Á., Obregón, M., 2014. Introducción a la Ingeniería Industrial (2nd ed.). Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 175-192 pp.

Benavídez, X., & Segarra, E., 2018. Levantamiento de procesos de la industria de ensamblaje. Caso de estudio Empresa de producción semiautomatizada de tarjetas electrónicas y empresa de producción manual de motocicletas. Tesis de grado. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Bermúdez, S., Durán, M., Escobar, C., Morales, A., Monroy, S., Ramírez, A., Rámirez, J., Trejos, J., Castaño, J., & González, S., 2011. Evaluación de la relación entre rendimiento académico y estrés en estudiantes de Medicina. MedUNAB, 9(3), 198-205 pp. Disponible en: <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/view/135>

Cardona, M., 2016. Mejoramiento del tiempo de operación en procesos de ensamble bimanual basado en técnicas de optimización computacional. Tesis de Grado, 15, 25 pp. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/53949/1/1053792916.2016.pdf>

Caso, A., 2006. Técnicas de Medición del Trabajo (2nd ed.). Madrid. FC Editorial, 21 pp.

Castillo, A., 2013. Estadística Aplicada. Ciudad de México: Trillas.

CROEM, Prevención de Riesgos Ergonómicos, 2013. 3-11 pp. Disponible en: <http://www.croem.es/prevergo/formativo/1.pdf>



Universidad de Cuenca

García, R., 2001. ESTUDIO DEL TRABAJO Ingeniería de métodos y medición del trabajo (2nd ed.). México D.F. Mc Graw Hill.

García V., García N., Patiño V., Rondón L., & Veracierta L., 2009. Reubicación del almacén de equipos reparados y disminución de traslados de la empresa HIDROBOMBAS C.A para la mejora en su proceso aplicando las herramientas de Ingeniería de Métodos, 20 pp. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Puerto Ordaz. Venezuela. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/91792075/Estudio-Movimiento-y-Tiempo-Mejora-Procesos-Hidrobombas-c-A>

Hodson WK., 2001. Manual del Ingeniero Industrial, Ciudad de México.: Mc Graw Hill, 4.15-4.18 pp.

Huertas, R., & Domínguez, R., 2016. Decisiones Estratégicas para la Dirección de Operaciones en Empresas de Servicio y Turísticas (2nd ed.). Barcelona: Universitat de Barcelona, 69 pp.

Kanawaty, G., 1996. Introducción al Estudio del Trabajo. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo (OIT), 77-170; 273-343 pp.

Los Andes, 2018. Industria automotriz plantea diálogo con el gobierno ecuatoriano para definir políticas arancelarias. Disponible en: <https://www.andes.info.ec/es/noticias/economia/16/industria-automotriz-plantea-dialogo-con-el-gobierno-ecuatoriano-para-definir-politicas-arancelarias>

Meyers, F. E., 2000. Estudios de tiempos y movimientos: para la manufactura ágil (2nd ed.) Ciudad de México: Pearson educación, 22 pp.

Nicolaci, M., 2008. Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (CyMAT). 3 pp. Disponible en: http://cienciared.com.ar/ra/usr/3/591/hologramatica08_v2pp3_48.pdf

Niebel, B., & Freivalds, A., 2009. Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo (12th ed.). New York: Mc Graw Hill, 327 pp.

Pérez, C., 2009. Técnica de análisis de datos con SPSS 15. Madrid: Pearson Prentice Hall.

Pértiga S., & Pita S. (2000). Técnicas de regresión: Regresión Lineal Múltiple. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. 1-7.

Revista Líderes, 2016. El ensamblaje paga el precio del frenazo de la economía de Ecuador. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/ensamblaje-precio-economia-ecuador-crisis.html>



Universidad de Cuenca

Rico, L., Maldonado A., Escobedo, M., de la Riva J., 2005. Técnicas Utilizadas para el Estudio de Tiempos: un Análisis Comparativo. Revista CULTyC: Cultura científica y tecnológica. 9-18.

Rojas D., 2015. Propuesta de Estandarización de Metodos y Tiempos en el Proceso Productivo de la empresa industrias SUR EU. Tesis de Grado, 26-27 pp. Universidad Católica de Pereira, Pereira. Colombia. Disponible en: <https://docplayer.es/69528186-Propuesta-de-estandarizacion-de-metodos-y-tiempos-en-el-proceso-productivo-de-la-empresa-industrias-sur-eu-david-rojas-ruiz.html>

Spiegel, M., Schiller, J., & Srinivasan, R., 2003. Teoría y problemas de Probabilidad y estadística (4th ed.). Ciudad de México: Mc Graw Hill, 382 pp.

Uriel. E., 2013. Regresión lineal múltiple: estimación y propiedades, 20 pp. Disponible en: <https://www.uv.es/=uriel/3%20Regresion%20lineal%20multiple%20estimacion%20y%20propiedades.pdf>



Anexos.

ANEXO 1. PROCESOS PRODUCTIVOS.

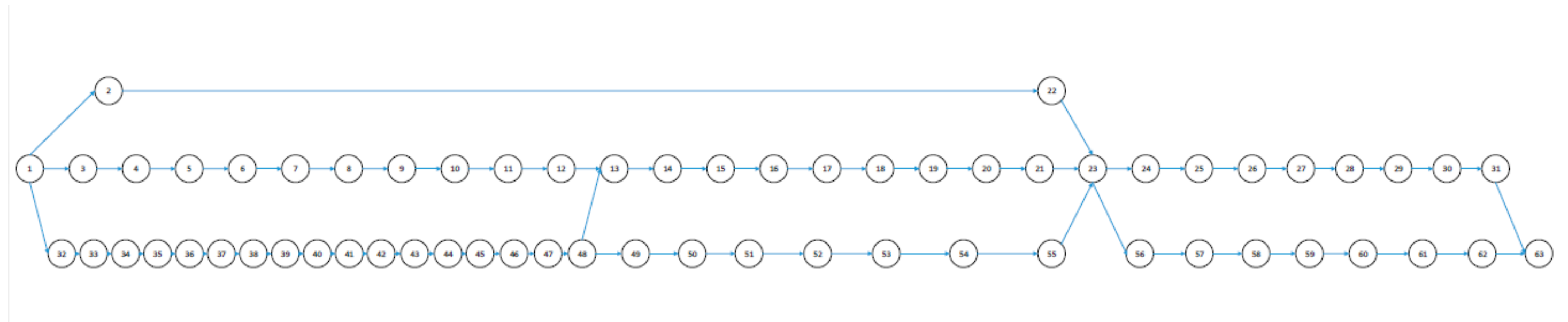
Tabla 12. PROCESO DE ENSAMBLE MOTOCICLETA M1

Desempacar piezas (1)	Colocar amortiguador (33)
Desempacar motor (2)	Colocar guarda lodo (34)
Clasificar pernos (3)	Colocar trompo (35)
Armar llanta delantera (4)	Colocar porta batería (36)
Colocar pito (5)	Colocar patas de soporte (37)
Colocar platina y base de bomba de aire (6)	Armar oscilante (38)
Armar tacómetro (7)	Conectar sistema pata de freno-estribos-oscilante (39)
Armar faro (8)	Armar llanta posterior (40)
Armar switch (9)	Colocar llanta posterior (41)
Armar timón (10)	Colocar cadena (42)
Armar carcasa (11)	Colocar cubre cadena (43)
Armar tanque de gasolina (12)	Armar guarda fango posterior (44)
Colocar switch (13)	Colocar guarda fango posterior (45)
Colocar sistema chicote-bobina-rectificador (14)	Armar laterales (46)
Lubricar partes móviles (15)	Armar cola de chasis (47)
Colocar mesas (16)	Levantar armazón (48)
Colocar telescópicas (17)	Colocar mordaza en el chasis (49)
Colocar timón (18)	Colocar cola de chasis (50)
Conectar cables eléctricos delanteros (19)	Colocar chapa de chasis (51)
Colocar guarda fango delantero (20)	Conectar cables eléctricos posteriores (52)
Colocar llanta delantera (21)	Colocar manuales y espejos (53)
Trasladar motor (22)	Colocar simbra trompo-pata de freno (54)
Colocar motor (23)	Armar tubo de escape (55)
Conectar motor (24)	Conectar automático, flash y módulo (56)
Colocar protecciones al motor (25)	Conectar el positivo y negativo al automático (57)
Conectar cables medios (26)	Calibrar y apretar eje llanta posterior (58)
Colocar tanque de gasolina (27)	Colocar tubo de escape (59)
Colocar pata de cambio (28)	Colocar laterales (60)
Colocar carcasa (29)	Colocar estribos (61)
Colocar faro (30)	Anotar código, número de motor y chasis (62)
Colocar tapa de tanque y llave de moto (31)	Trasladar moto a bodega (63)
Colocar depurador (32)	



ANEXO 2. DIAGRAMAS DE PRECEDENCIA.

FIGURA 1. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA MOTOCICLETA M1





ANEXO 3.

Tabla 17. MÉTODO GENERAL ELECTRIC PARA CÁLCULO DE NÚMERO DE OBSERVACIONES.

<i>Tiempo de ciclo (Minutos)</i>	<i>Número de ciclos a cronometrar</i>
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
4.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
Más de 40.00	3



ANEXO 4.

Tabla 18. MÉTODO WESTINGHOUSE PARA VALORACIÓN DE TRABAJO

Habilidad			Esfuerzo		
0.15	A1		0.13	A1	
0.13	A2	Habilísimo	0.12	A2	Excesivo
0.11	B1		0.10	B1	
0.08	B2	Excelente	0.08	B2	Excelente
0.06	C1		0.05	C1	
0.03	C2	Bueno	0.02	C2	Bueno
0	D	Promedio	0	D	Promedio
-0.05	E1		-0.04	E1	
-0.10	E2	Regular	-0.08	E2	Regular
-0.15	F1		-0.12	F1	
-0.22	F2	Deficiente	-0.17	F2	Deficiente
Condiciones			Consistencia		
0.06	A	Ideales	0.04	A	Perfecto
0.04	B	Excelente	0.03	B	Excelente
0.02	C	Buena	0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio	0.00	D	Promedio
-0.03	E	Regulares	-0.02	E	Regulares
-0.07	F	Malas	-0.04	F	Deficientes