



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO

TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Reporte final de trabajo de período sabático del:

Dr. Angel Manuel Medina Mendoza

B.2. Elaboración de Apuntes

para la asignatura

ESTUDIO DEL TRABAJO II

INJ-1012

De acuerdo con el proyecto calendarizado en el documento PS-02

“B.2. Elaboración de Apuntes elaborado durante el ejercicio

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., a 30 de enero de 2025

CARTA DE RECONOCIMIENTO DE AUTOR DE DERECHOS A FAVOR DEL TECN

San Luis Potosí, México, 30 de enero de 2025.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO PRESENTE

Bajo protesta de decir verdad, **Angel Manuel Medina Mendoza**, personal Tecnológico Nacional de México, manifiesto que en cumplimiento de mis actividades relacionadas con el Año Sabático, elaboré la obra titulada “**B.2. Elaboración De Apuntes para la Asignatura de Estudio del trabajo II INJ-1012**”.

Con base en lo anterior, y con fundamento en los artículos 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y 46 de su Reglamento, reconozco que el Tecnológico Nacional de México es titular de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponden las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección, conservando el derecho a figurar como autor.

Asimismo, respondo por la autoría y originalidad de la citada obra y relevo de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que considere que con esta obra es afectado en alguno de los derechos protegidos por la Ley en cita, asumiendo todas las consecuencias legales y económicas.

ATENTAMENTE



Angel Manuel Medina Mendoza

Índice de Contenido

Tema 1: Estudio de Tiempos predeterminados.	6
1.1. Conceptos fundamentales de los diferentes métodos de tiempos predeterminados: Work Factor, MTM, MOST, MODAPTS, entre otros.	6
1.2. Descripción y aplicación de los métodos seleccionados.	7
1.3. Uso de Software estadístico Minitab 19 y Excel como complementos a los sistemas de tiempos predeterminados.	18
Tema 2. Muestreo de Trabajo.	23
2.1. Conceptos generales de muestreo de trabajo.	23
2.2. Objetivo de muestreo: determinación del porcentaje de tiempo productivo, determinación de tolerancias y cálculo del tiempo estándar.	25
2.3. Planeación y aplicación del estudio de muestreo de trabajo.	29
2.4. Diseño de formas de registro.	31
2.5. Selección del nivel de confianza y de precisión.	33
2.6. Determinación de horarios aleatorios.	35
2.7. Registro concentrado de observaciones.	38
2.8. Análisis de la información registrada.	40
2.9. Elaboración de gráficas de control.	43
2.10. Uso de Software estadístico Minitab 19 y Excel para el muestreo del trabajo. .	50
Tema 3. Balanceo de Líneas.	54
3.1. Conceptos generales de balanceo de líneas.	54
3.2. Descripción y aplicación de métodos para el balanceo de líneas de producción: peso posicional, Kildbrige & Wester y de acuerdo a un volumen de producción.	56
3.3. Balanceo de líneas de ensamble para la producción simultanea de más de un modelo.	63
3.4. Uso de Software estadístico Minitab 19 para el balanceo de líneas.	68
Tema 4. Datos Estándar y Propósito de los estándares de tiempos.	70
4.1. Datos Estándar.	73
4.1.1. Aplicación de los datos estándar en operaciones de maquinado.	74
4.1.2. Base para equilibrar la fuerza laborar con el trabajo disponible.	77
4.2. Propósito de los estándares de tiempo.	80
4.2.1. Base para cotización de nuevos productos.	81
4.2.2. Base para control presupuestal.	84
4.2.3. Base para primas de supervisión.	88
4.2.4. Cumplimiento de las normas de calidad.	91
4.2.5. Elevación de los estándares de personal.	93
4.3. Simplificación de los problemas de dirección de la empresa.	94
4.4. Uso de software Minitab 19 para aplicar los datos estándar.	99
Referencias Bibliográficas	102

Índice de tablas	Pagina
Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de los PTMS.	6
Tabla 1.2. Ensamble de una Válvula.	18
Tabla 1.3. Extracto de hoja de Excel para datos de ensamble de una válvula.	20
Tabla 2.1. Ventajas y desventajas del muestreo de trabajo.	24
Tabla 2.2. Ejemplo de Diseño de una Forma de Registro.	32
Tabla 2.3. Horarios aleatorios calculados para 5 observaciones.	37
Tabla 2.4. Horarios aleatorios calculados para 4 observaciones.	38
Tabla 2.5. Concentrado de porcentajes del muestreo de Línea de Ensamblaje.	39
Tabla 2.6. Concentrado de 500 observaciones de un muestreo.	40
Tabla 2.7. Concentrado de 500 observaciones de un muestreo de un proceso de manufactura.	42
Tabla 2.8. Concentrado de 600 observaciones de un muestreo.	43
Tabla 2.9. Acumulado de Observaciones de un muestreo planta de producción automotriz.	45
Tabla 2.10. Muestreo 500 observaciones para una (p-chart) de Proporciones.	46
Tabla 2.11. Muestreo a operario de línea de producción durante 8 horas.	51
Tabla 2.12. Frecuencia de estados de Muestreo a operario usando Minitab.	52
Tabla 3.1. Tareas y sus tiempos asociados para un balanceo de línea.	55
Tabla 3.2. Secuencia de 6 Tareas, tiempos y sucesores.	58
Tabla 3.3. Cálculo del Peso Posicional (WP).	58
Tabla 3.4. Asignación de tareas a estaciones.	58
Tabla 3.5. Secuencia de 5 Tareas, tiempos y sucesores.	58
Tabla 3.6. Ejercicio de Cálculo del RPW.	58
Tabla 3.7. Asignación de 5 tareas a estaciones.	59
Tabla 3.8. conjunto de tareas para aplicar método de Kildbrige & Wester.	60
Tabla 3.9. Identificación de niveles usando método de Kildbrige & Wester.	61
Tabla 3.10. Asignación de tareas usando método de Kildbrige & Wester.	61
Tabla 3.11. tiempos de ensamble de una línea mixta.	65
Tabla 3.12. Balanceo de línea de producción.	68
Tabla 4.1. Datos de 10 observaciones de una actividad.	72
Tabla 4.2. Datos de 5 observaciones de tiempo estándar para aplicar Minitab.	99

Índice de Graficas	Pagina
Grafica 1.1. Grafica de medias (segundos) de ensamble de una válvula.	19
Grafica 1.2. Grafica de barras agrupadas (segs.) de ensamble de una válvula	20
Grafica 2.1. (P-chart) de Control de Proporciones de Tiempo Productivo.	46
Grafica 2.2. Porcentajes de estados de muestreo a operario usando Minitab.	52
Grafica 2.3. Porcentajes de estados de muestreo a operario usando Excel.	53
Grafica 3.1. De tipo barras para variable tiempo en segundos usando Minitab.	69
Grafica 3.2. Diagrama de Pareto para identificar cuello de botella usando Minitab.	69
Grafica 4.1. Diagrama de probabilidad de tiempo estándar (s).	100
Grafica 4.2. Histograma de tiempo estándar (s).	100
Grafica 4.3. Carta de Control I-MR de tiempo estándar (s).	101
Grafica 4.4. de tipo de Caja de la variable tiempo estándar (s).	101

Tema 1: Estudio de Tiempos predeterminados.

1.1. Conceptos fundamentales de los diferentes métodos de tiempos predeterminados: Work Factor, MTM, MOST, MODAPTS, entre otros.

Introducción

Los **Métodos de Tiempos Predeterminados (PTMS - Predetermined Time Measurement Systems)** son sistemas diseñados para medir el tiempo requerido para completar una tarea sin la necesidad de realizar estudios cronométricos directos. Se basan en datos experimentales de movimientos básicos, asignándoles tiempos estándar que permiten una planificación y control más eficiente de la producción. (Niebel & Freivalds, 2009).

Es una metodología utilizada en la Ingeniería Industrial para asignar tiempos estándar a tareas específicas descomponiéndolas en movimientos básicos. Cada movimiento tiene un tiempo predeterminado asignado basado en su naturaleza y las condiciones bajo las cuales se ejecuta.

Propósitos:

- Establecer tiempos estándar sin la necesidad de estudios cronométricos.
- Facilitar el diseño y evaluación de procesos de trabajo.
- Incrementar la productividad mediante la optimización de los métodos.
- Comparar métodos alternativos de manera objetiva.

Aplicaciones

- Diseño de Procesos: Determinación del método más eficiente para actividades.
- Gestión del Tiempo: Calcular capacidades y programar actividades.
- Análisis de Costos: Cálculo de costos laborales y presupuestos operativos.
- Balanceo de Líneas: Optimizar la distribución del trabajo entre estaciones.

Ventajas y desventajas del Muestreo de Trabajo.

Ventajas	Desventajas
• Proporciona estimaciones consistentes y objetivas. • Elimina la necesidad de observaciones en tiempo real. • Mejora la eficiencia y reduce el tiempo improductivo.	• No captura variaciones individuales o contextuales. • Requiere experiencia para su implementación correcta. • Principales métodos de tiempos predeterminados

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de los PTMS. Fuente: Elaboración propia en base a (Niebel & Freivalds, 2009).

A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios sistemas de tiempos predeterminados, cada uno con aplicaciones específicas:

1. **MTM (Methods-Time Measurement)**
 - Descompone las tareas en movimientos elementales.
 - Subcategorías: **MTM-1**: Para análisis detallados; **MTM-2**: Para operaciones menos complejas y **MTM-3**: Para operaciones repetitivas y simples.
2. **MOST (Maynard Operation Sequence Technique)**
 - Basado en secuencias de movimientos comunes.
 - Categorías: General Move (Movimiento General), Controlled Move (Movimiento Controlado) y Tool Use (Uso de Herramientas)
3. **Work Factor (WF)**
 - Analiza tareas repetitivas, Considera factores como distancia y peso.
4. **MODAPTS (Modular Arrangement of Predetermined Time Standards)**
 - Basado en módulos de movimientos, Rápido y fácil de aplicar en manufactura y servicios.
5. **GPD (General Purpose Data)**
 - Derivado de MTM y Proporciona datos estándar para tareas comunes.
6. **BMT (Basic Motion Time Study)**
 - Se enfoca en el análisis de movimientos básicos; Adecuado para tareas simples y repetitivas. (MTM Association, 2012)

1.2. Descripción y aplicación de los métodos seleccionados.

a). Work Factor.

Work Factor (WF) es un sistema de tiempos predeterminados que analiza movimientos humanos básicos y asigna tiempos estándar basados en condiciones específicas del entorno laboral. Diseñado originalmente para procesos repetitivos, el método busca optimizar el uso del tiempo mediante la clasificación de movimientos y la estandarización de operaciones. (Niegel & Freivalds, 2009)

Principios Fundamentales

- Clasificación de Movimientos: Los movimientos se clasifican en acciones elementales como "alcanzar", "mover", "colocar" y "sujetar".
- Factores de Influencia: La duración del movimiento depende de factores como la distancia, el peso del objeto y el tipo de acción.
- Estandarización: Se utilizan tablas predefinidas para asignar tiempos estándar, eliminando la necesidad de mediciones en campo.

Aplicación Práctica: Usado principalmente en entornos de manufactura para reducir tiempos muertos y optimizar procesos. (Niebel & Freivalds, 2009)

Ventajas:

- Reducción de la variabilidad en los tiempos de producción.
- Facilita la comparación de métodos alternativos.
- Mejora la planificación y la distribución de recursos.

Limitaciones:

- Requiere una capacitación especializada para su implementación.
- No es óptimo para tareas no repetitivas o creativas.

Ejemplo Práctico: Cálculo de Tiempo con Work Factor.

Situación: Un operador debe ensamblar un componente utilizando las siguientes acciones:

Movimientos

Alcanzar una herramienta (30 cm).----->

Mover la herramienta a una posición de trabajo. ->

Colocar un tornillo en el componente. ----->

Ajustar el tornillo. ----->

Cálculo Total: Tiempo total = 0.6 + 0.4 + 1.2 + 2.5 = 4.7 segundos.

Tiempos Estándar:

Alcanzar (30 cm): 0.6 segundos.

Mover (10 cm): 0.4 segundos.

Colocar tornillo: 1.2 segundos.

Ajustar tornillo: 2.5 segundos.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operario realiza las siguientes acciones: **Alcanzar** un componente a 50 cm; enseguida **Mover** el componente a una mesa de trabajo (20 cm) e Insertar el componente en un molde y **Realizar** una inspección visual.

Tiempos Estándar:

- Alcanzar (50 cm): 0.8 segundos.
- Mover (20 cm): 0.5 segundos.
- Insertar en molde: 1.5 segundos.
- Inspección visual: 2.0 segundos.

Preguntas:

- ¿Cuál es el tiempo total de la operación?
- Si el operario realiza esta tarea 400 veces al día, ¿cuánto tiempo total emplea?

Respuestas:

- Tiempo total = 0.8 + 0.5 + 1.5 + 2.0 = 4.8 segundos.
- Tiempo total diario = 4.8 × 400 = 1920 segundos = 32 minutos.

b). MTM (Methods-Time Measurement).

Es un sistema de tiempos predeterminados que descompone las tareas manuales en movimientos básicos, asignando a cada uno un tiempo estándar con base en datos experimentales. Este método permite establecer tiempos estándar antes de que la tarea sea ejecutada, ayudando a optimizar los procesos.

Principios Fundamentales de MTM

- Descomposición del trabajo: Las tareas se descomponen en movimientos elementales como alcanzar, mover, girar, sujetar, soltar, etc.
- Asignación de tiempos estándar: A cada movimiento se le asigna un tiempo específico, denominado Time Measurement Unit (TMU), donde 1 TMU = 0.0006 minutos.
- Factores de Influencia: El tiempo asignado depende de variables como la distancia recorrida, el peso manipulado y la precisión requerida.
- Estandarización y repetibilidad: Permite medir el desempeño de manera consistente y repetible. (Niebel & Freivalds, 2009).

Clasificación de Movimientos en MTM

1. **Alcanzar (R):** Tiempo depende de la distancia y la dirección del movimiento.
2. **Mover (M):** Incluye el traslado de objetos.
3. **Sujetar (G):** Movimiento para agarrar objetos, clasificado por tipo de agarre.
4. **Colocar (P):** Movimiento para ajustar o posicionar objetos.
5. **Soltar (RL):** Movimiento para liberar objetos.
6. **Otros Movimientos:** Incluyen inspecciones, ajustes y tiempos de espera. (Niebel & Freivalds, 2009).

Ventajas

- Mejora la planificación de procesos y el diseño de tareas.
- Identifica oportunidades de mejora en métodos existentes.
- Elimina la necesidad de estudios cronométricos.

Limitaciones

- Requiere un entrenamiento específico para su aplicación.
- Puede no ser adecuado para tareas creativas o no repetitivas.

Ejemplo Práctico: Uso de MTM

Situación: Un operador debe ensamblar un componente electrónico. Las acciones incluyen:

Movimientos

Alcanzar una herramienta (30 cm).----->
Mover la herramienta a la posición de trabajo. ---->
Sujetar y ajustar un tornillo en el componente.----->
Soltar la herramienta.----->

Tiempos Estándar:

Alcanzar (30 cm): 10 TMU.
Mover (20 cm): 8 TMU.
Sujetar y ajustar: 12 TMU.
Soltar: 5 TMU.

Cálculo del Tiempo Total: Tiempo total = 10 + 8 + 12 + 5 = 35 TMU.

En minutos: 35 TMU $\times$ 0.0006 = 0.021 minutos.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operario realiza las siguientes acciones:

1. Alcanzar un componente a 50 cm.
2. Mover el componente a una mesa de trabajo (25 cm).
3. Insertar el componente en un molde.
4. Realizar una inspección visual.
5. Soltar el componente.

Tiempos Estándar:

- Alcanzar (50 cm): 15 TMU.
- Mover (25 cm): 10 TMU.
- Insertar en molde: 20 TMU.
- Inspección visual: 30 TMU.
- Soltar: 5 TMU.

Preguntas:

1. ¿Cuál es el tiempo total en TMU?
2. Convierte el tiempo total a minutos.

Respuestas:

1. Tiempo total = 15 + 10 + 20 + 30 + 5 = 80 TMU.
2. Tiempo total en minutos = 80 TMU $\times$ 0.0006 = 0.048 minutos.

c). MOST (Maynard Operation Sequence Technique)

Es un sistema de tiempos predeterminados que simplifica el análisis de tareas al concentrarse en secuencias de movimientos repetitivos. Fue desarrollado para aumentar la eficiencia y reducir el tiempo necesario para evaluar operaciones comparado con otros sistemas como MTM.

Principios Fundamentales de MOST

1. **Secuencias de Movimientos:** MOST se basa en la identificación de secuencias básicas de movimientos, cada una con un tiempo estándar asignado.
2. **Unidades de Medida:** Los tiempos se miden en unidades TMU (Time Measurement Units), donde 1 TMU = 0.0006 minutos.
3. **Aplicación en Tareas Repetitivas:** Diseñado para operaciones donde los movimientos repetitivos dominan, como manufactura y ensamblaje.
4. **Simplicidad y Rapidez:** Reduce el tiempo de evaluación al analizar operaciones completas en lugar de movimientos individuales. (Zandin, 2003).

Categorías de Secuencias en MOST

1. **Secuencia General (General Move):** Movimientos sin restricciones, como alcanzar y mover un objeto.
2. **Secuencia Controlada (Controlled Move):** Movimientos realizados bajo restricciones, como guiar un objeto.
3. **Secuencia de Herramienta (Tool Use):** Movimientos relacionados con el uso de herramientas manuales o mecánicas. (Zandin, 2003).

Ventajas

- Reducción significativa del tiempo de análisis.
- Aplicación fácil y eficiente en entornos industriales.
- Precisión adecuada para la toma de decisiones.

Limitaciones

- No es adecuado para tareas complejas o no repetitivas.
- Requiere capacitación específica para una implementación efectiva.

Ejemplo Práctico: Uso de MOST

Situación: Un operador debe realizar la siguiente tarea:

1. Alcanzar un componente en una caja.
2. Mover el componente a una mesa de trabajo.
3. Insertar el componente en un ensamblaje.

Análisis con MOST:

1. Secuencia General:
 - Alcanzar el componente: A10 (10 TMU).
 - Mover a la mesa: B20 (20 TMU).
 - Regresar las manos: A10 (10 TMU).
2. Secuencia Controlada:
 - Guiar el componente al ensamblaje: G10 (10 TMU).

Cálculo: Tiempo total = A10 + B20 + A10 + G10 = 50 TMU. En minutos: $50 \text{ TMU} \times 0.0006 = 0.03 \text{ minutos}$.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operador realiza la siguiente tarea:

1. Alcanzar una herramienta (ubicada a 50 cm).
2. Mover la herramienta a una posición de trabajo (30 cm).
3. Utilizar la herramienta para ajustar un tornillo.
4. Devolver la herramienta al estante.

Tiempos en MOST:

- Alcanzar la herramienta: A10 (10 TMU).
- Mover la herramienta: B20 (20 TMU).
- Usar la herramienta: T40 (40 TMU).
- Regresar la herramienta: A10 (10 TMU).

Preguntas:

1. ¿Cuál es el tiempo total en TMU?
2. Convierte el tiempo total a minutos.

Respuestas:

1. Tiempo total = $10 + 20 + 40 + 10 = 80 \text{ TMU}$.
2. Tiempo total en minutos = $80 \text{ TMU} \times 0.0006 = 0.048 \text{ minutos}$.

d). MODAPTS (Modular Arrangement of Predetermined Time Standards)

Es un sistema de tiempos predeterminados diseñado para analizar tareas manuales utilizando un conjunto modular de movimientos comunes. Este método es ampliamente utilizado debido a su simplicidad, rapidez y facilidad de aprendizaje. (Niebel & Freivalds, 2009).

Principios Fundamentales de MODAPTS

1. Modularidad: Las tareas se descomponen en módulos de movimientos comunes, donde cada módulo tiene un tiempo predeterminado en unidades MOD.
2. Estandarización: Cada movimiento básico como "alcanzar", "mover" o "sujetar" tiene un valor estándar asignado.
3. Unidades MOD: Una unidad MOD equivale a 0.129 segundos. Esto permite realizar cálculos rápidos de tiempos de ciclo.
4. Compatibilidad: Es adecuado tanto para entornos de manufactura como para otras industrias, incluyendo servicios.

Categorías de Movimientos en MODAPTS

1. **M (Mover):** Representa el movimiento del brazo o mano para alcanzar un objeto.
2. **G (Grap):** Representa la acción de sujetar o agarrar un objeto.
3. **P (Place):** Representa el acto de colocar un objeto en una posición específica.
4. **F (Finger):** Movimientos que implican el uso de los dedos, como girar o ajustar.
5. **Otros:** Movimientos adicionales como "L" (Levantar) o "R" (Regresar). (MODAPTS International, 2010).

Ventajas

- Simplicidad en su aplicación y aprendizaje.
- Reducción del tiempo necesario para realizar estudios de tiempos.
- Aplicable a tareas repetitivas y no repetitivas.

Limitaciones

- Menor precisión que sistemas como MTM en tareas complejas.
- Requiere entrenamiento específico para su uso correcto.

Ejemplo Práctico: Uso de MODAPTS

Situación: Un operario realiza la siguiente tarea:

1. Alcanzar un destornillador (M).
2. Sujetar el destornillador (G).
3. Ajustar un tornillo (F).
4. Regresar el destornillador al estante (M).

Cálculo con MODAPTS:

1. Mover hacia el destornillador: M3 (3 MOD).
2. Sujetar el destornillador: G1 (1 MOD).
3. Ajustar el tornillo: F5 (5 MOD).
4. Regresar el destornillador: M3 (3 MOD).

Tiempo Total: Tiempo total en MOD = $3 + 1 + 5 + 3 = 12$ MOD.

En segundos: $12 \text{ MOD} \times 0.129 = 1.548$ segundos.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operador realiza las siguientes acciones:

1. Alcanzar un componente a 40 cm.
2. Mover el componente a una mesa de trabajo.
3. Ajustar el componente con los dedos.
4. Colocar el componente terminado en una bandeja.

Cálculo con MODAPTS:

- Alcanzar: M3 (3 MOD).
- Mover a la mesa: M2 (2 MOD).
- Ajustar con los dedos: F4 (4 MOD).
- Colocar en bandeja: P2 (2 MOD).

Preguntas:

1. ¿Cuál es el tiempo total en MOD?
2. Convierte el tiempo total a segundos.

Respuestas:

1. Tiempo total = $3 + 2 + 4 + 2 = 11$ MOD.
2. Tiempo total en segundos = $11 \text{ MOD} \times 0.129 = 1.419$ segundos.

e). GPD (General Purpose Data).

Es un sistema de tiempos predeterminados derivado del MTM que proporciona tiempos estándar para movimientos y actividades comunes en tareas repetitivas. Su objetivo principal es simplificar el análisis de operaciones mediante datos preestablecidos que se aplican a diversas industrias y entornos laborales. (MTM Association, 2012).

Principios Fundamentales de GPD

1. **Simplificación:** Utiliza tablas de datos predefinidos que representan tiempos estándar para movimientos comunes como "alcanzar", "mover", "colocar", entre otros.
2. **Unidades de Tiempo:** Los tiempos se expresan en TMU (Time Measurement Units), donde 1 TMU = 0.0006 minutos.
3. **Adaptabilidad:** Es adecuado para tareas de manufactura, ensamblaje y sectores de servicios.
4. **Precisión:** Aunque menos detallado que MTM-1, mantiene un nivel de precisión adecuado para la mayoría de las aplicaciones.

Clasificación de Movimientos en GPD

1. **Alcanzar:** Movimiento para extender la mano hacia un objeto.
2. **Mover:** Transporte de objetos de un lugar a otro.
3. **Colocar:** Ajustar o posicionar un objeto en una ubicación específica.
4. **Sujetar:** Agarre del objeto.
5. **Soltar:** Liberación del objeto.
6. **Inspeccionar:** Observación o verificación visual.

Ventajas

- Rápido y fácil de implementar.
- Amplia aplicación en tareas industriales y de servicios.
- Reduce la necesidad de estudios cronométricos extensivos.

Limitaciones

- Menor precisión en comparación con sistemas más detallados como MTM-1.
- Requiere entrenamiento específico para su uso correcto.

Ejemplo Práctico: Uso de GPD

Situación: Un operador debe realizar la siguiente tarea:

1. Alcanzar una herramienta.
2. Mover la herramienta a una posición de trabajo.
3. Ajustar un tornillo.
4. Colocar la herramienta en su estante.

Análisis con GPD:

1. Alcanzar la herramienta: 10 TMU.
2. Mover la herramienta: 12 TMU.
3. Ajustar el tornillo: 15 TMU.
4. Colocar la herramienta: 10 TMU.

Cálculo del Tiempo Total: $\text{Tiempo total} = 10 + 12 + 15 + 10 = \mathbf{47 \text{ TMU}}$.

En minutos: $47 \text{ TMU} \times 0.0006 = \mathbf{0.0282 \text{ minutos}}$.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operador realiza las siguientes acciones:

1. Alcanzar un componente a 40 cm.
2. Mover el componente a una mesa de trabajo.
3. Inspeccionar el componente.
4. Colocar el componente terminado en una caja.

Datos Estándar en GPD:

- Alcanzar: 12 TMU.
- Mover: 15 TMU.
- Inspeccionar: 20 TMU.
- Colocar: 10 TMU.

Preguntas:

1. ¿Cuál es el tiempo total en TMU?
2. Convierte el tiempo total a minutos.

Respuestas:

1. $\text{Tiempo total} = 12 + 15 + 20 + 10 = \mathbf{57 \text{ TMU}}$.
2. $\text{Tiempo total en minutos} = 57 \text{ TMU} \times 0.0006 = \mathbf{0.0342 \text{ minutos}}$.

f). BMT (Basic Motion Time Study).

Es un sistema de tiempos predeterminados que se enfoca en la evaluación de movimientos básicos durante la realización de tareas. Diseñado para simplificar el análisis de tiempos, este método utiliza datos predefinidos para movimientos comunes, permitiendo establecer estándares de tiempo de manera rápida y eficiente. (BMT International, 2015).

Principios Fundamentales de BMT

1. **Movimientos Básicos:** Los movimientos se descomponen en elementos como alcanzar, mover, sujetar y colocar.
2. **Datos Predefinidos:** Cada movimiento tiene un tiempo estándar asignado en unidades TMU (Time Measurement Units), donde $1 \text{ TMU} = 0.0006 \text{ minutos}$.
3. **Simplicidad:** Es un sistema rápido y fácil de aplicar, ideal para tareas repetitivas.
4. **Adaptabilidad:** Se utiliza en procesos industriales y de servicios.

Categorías de Movimientos en BMT

1. **Alcanzar:** Movimiento para extender la mano hacia un objeto.
2. **Mover:** Transporte del objeto a una nueva ubicación.
3. **Sujetar:** Agarre firme del objeto.
4. **Colocar:** Posicionar el objeto en un lugar específico.
5. **Inspeccionar:** Verificación visual de un objeto o proceso. (BMT International, 2015).

Ventajas

- Simplicidad y rapidez en su implementación.
- Reduce la necesidad de estudios de tiempos largos y complejos.
- Amplia aplicación en operaciones repetitivas.

Limitaciones

- Menor precisión en comparación con sistemas más detallados como MTM.
- Requiere entrenamiento básico para su aplicación correcta.

Ejemplo Práctico: Uso de BMT

Situación: Un operario debe ensamblar un componente utilizando las siguientes acciones:

1. Alcanzar un destornillador.
2. Mover el destornillador al punto de trabajo.
3. Ajustar un tornillo.
4. Colocar el destornillador en su lugar.

Análisis con BMT:

1. Alcanzar el destornillador: 10 TMU.
2. Mover el destornillador: 12 TMU.
3. Ajustar el tornillo: 15 TMU.
4. Colocar el destornillador: 10 TMU.

Cálculo: Tiempo total = $10 + 12 + 15 + 10 = 47$ TMU.

En minutos: $47 \text{ TMU} \times 0.0006 = 0.0282$ minutos.

Ejercicio Práctico

Problema: Un operario realiza las siguientes acciones:

1. Alcanzar un componente a 50 cm.
2. Mover el componente a una mesa de trabajo.
3. Inspeccionar el componente.
4. Colocar el componente en una caja.

Datos Estándar en BMT:

- Alcanzar: 15 TMU.
- Mover: 20 TMU.
- Inspeccionar: 25 TMU.
- Colocar: 10 TMU.

Preguntas:

1. ¿Cuál es el tiempo total en TMU?
2. Convierte el tiempo total a minutos.

Respuestas:

1. Tiempo total = $15 + 20 + 25 + 10 = 70$ TMU.
2. Tiempo total en minutos = $70 \text{ TMU} \times 0.0006 = 0.042$ minutos.

1.3. Uso de Software estadístico Minitab 19 y Excel como complementos a los sistemas de tiempos predeterminados.

Ejemplo: Ensamble de una Válvula

Supongamos que un operario realiza un proceso de ensamblaje de una válvula. Se desglosa la tarea en elementos básicos y se aplican los tiempos predeterminados del sistema **MTM-1 (Methods-Time Measurement)**.

Ensamble de una Válvula

Elemento	Descripción	Código MTM-1	Tiempo (TMU)
Alcanzar	Mover la mano 15 cm hasta la pieza	R15	8
Agarrar	Tomar la pieza con la mano	G1	6
Mover	Transportar la pieza 20 cm	M20	12
Colocar	Alinear y posicionar en su lugar	P2	7
Soltar	Dejar la pieza en la posición final	RL	3

Tabla 1.2. Ensamble de una Válvula. Fuente: Elaboración propia en base a (Niebel & Freivalds, 2009).

Conversión de TMU a Segundos: $1 \text{ TMU} = 0.036$ segundos

Procedimiento en Minitab 19

1. Ingresar los Datos en Minitab
 - Abre Minitab 19 y crea una nueva hoja de trabajo.
 - En la Columna C1, ingresa los nombres de los elementos.
 - En la Columna C2, ingresa los valores en TMU.
 - En la Columna C3, ingresa la conversión a segundos con la fórmula:

$=C2*0.036$

Análisis Estadístico en Minitab

- Ve a Estadísticas > Estadísticas Básicas > Mostrar Estadísticos Descriptivos.
- Selecciona la columna de tiempos en segundos.
- Activa las opciones Media, Mediana, Desviación Estándar y Suma.
- Esto te dará el tiempo total del proceso y su variabilidad.

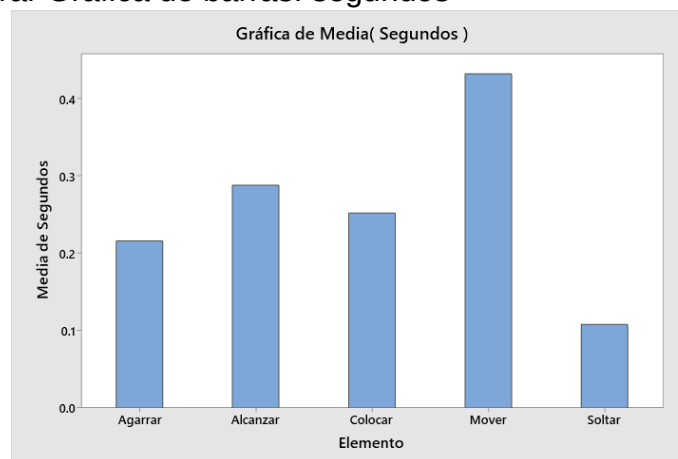
Resultados de Mostrar Estadísticos Descriptivos: segundos

Estadísticas				
Variable	Media	Desv.Est.	Suma	Mediana
Segundos	0.2592	0.1178	1.2960	0.2520

Gráfico de Barras para Análisis Visual

- Ve a Gráficos > Gráfica de barras > Función de una variable > Función Media > Variable Categórica Elemento.
- Selecciona la columna de tiempos en segundos.
- Usa el modo de resumen para visualizar la contribución de cada elemento.
- Personaliza el gráfico agregando etiquetas y títulos.

Resultados de Mostrar Gráfica de barras: segundos



Grafica 1.1. Grafica de medias (segundos) de ensamble de una válvula

El uso de software estadístico Minitab 19, permite un análisis rápido del proceso de tiempos predeterminados, complementando con los gráficos ayudan a identificar oportunidades de mejora en el método de trabajo, en conjunto el análisis estadístico proporciona una visión clara de la variabilidad y el tiempo total.

Cálculo en Excel

Para usar **Excel**, puedes estructurar la tabla de esta forma:

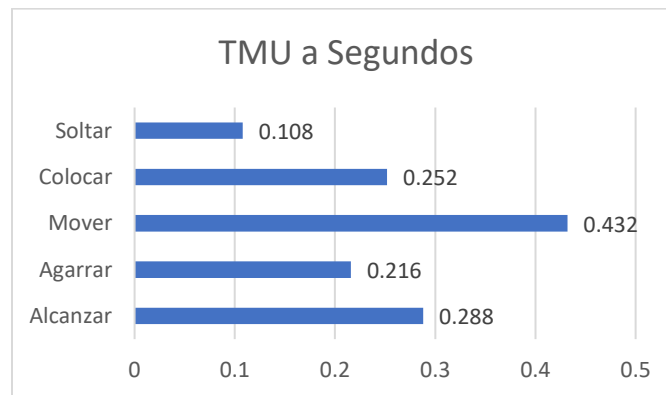
Elemento	Código MTM-1	TMU	TMU a Segundos	
Alcanzar	R15	8	0.288	=C2*0.036
Agarrar	G1	6	0.216	=C3*0.036
Mover	M20	12	0.432	=C4*0.036
Colocar	P2	7	0.252	=C5*0.036
Soltar	RL	3	0.108	=C6*0.036
Total		36	1.296	=SUMA(D2:D6)

Tabla 1.3. Extracto de hoja de Excel para datos de ensamble de una válvula.

Colocar las fórmulas mostradas en la quinta columna de la tabla 1.3., de esta manera, Excel calculará automáticamente el tiempo total en segundos para la tarea.

Selecciona las columnas de: Elemento y TMU a Segundos, Ve a Insertar > Gráficos Recomendados > Barras Agrupadas.

Este tipo de gráficos se usa para comparar algunos valores entre algunas categorías.



Grafica 1.2. Grafica de barras agrupadas (segs.) de ensamble de una válvula

Beneficios de Usar Excel

1. Automatización de Cálculos: Puedes actualizar los tiempos fácilmente al cambiar los valores.
2. Gráficos y Análisis: Crear gráficos para visualizar qué elementos consumen más tiempo.
3. Flexibilidad: Se pueden agregar más elementos o ajustar parámetros.

Conclusión.

El estudio de tiempos predeterminados es una herramienta valiosa en la ingeniería industrial para la optimización de procesos y la mejora de la productividad. Su correcta aplicación permite establecer estándares de tiempo precisos, facilitando la planificación y control de las operaciones en entornos productivos.

Se utilizada en la ingeniería industrial para estandarizar y optimizar procesos productivos mediante la medición y asignación de tiempos a actividades específicas. Su correcta implementación no solo mejora la productividad y eficiencia en las empresas, sino que también tiene un impacto directo en la economía de un país, influyendo en factores como el empleo, la competitividad, la inversión extranjera y la sostenibilidad.

a) Impacto en la productividad y la competitividad industrial

Uno de los principales efectos del estudio de tiempos predeterminados es la mejora en la productividad de las empresas, ya que permite:

- Reducir tiempos de operación, eliminando movimientos innecesarios y mejorando la secuencia de trabajo.
- Optimizar la asignación de tareas, equilibrando la carga de trabajo entre los operarios.
- Incrementar la capacidad de producción, al eliminar demoras y cuellos de botella en el flujo de trabajo.
- Establecer estándares de tiempo más precisos, que permiten una mejor planificación de la producción.

Cuando las empresas mejoran su productividad, los costos unitarios de fabricación disminuyen, permitiendo ofrecer productos a precios más competitivos en el mercado nacional e internacional. Esto conlleva a mayores exportaciones, fortaleciendo el PIB del país.

b) Generación de empleo y mejora en las condiciones laborales

El Estudio de tiempos predeterminados también impacta el mercado laboral, ya que:

- Permite una mejor distribución del trabajo, evitando sobrecarga en ciertos empleados y reduciendo la fatiga laboral.
- Facilita la capacitación y especialización de los trabajadores, al estandarizar tareas y procesos.

- Mejora la seguridad laboral, al eliminar movimientos innecesarios o inseguros y diseñar operaciones ergonómicamente eficientes.
- Optimiza la contratación de personal, garantizando que las empresas cuenten con la cantidad adecuada de trabajadores para cubrir la producción sin generar costos innecesarios.

Cuando se mejoran las condiciones laborales, se incrementa la productividad de los trabajadores, se reducen las tasas de ausentismo y accidentes, fomentando un ambiente laboral más estable y eficiente.

c) Reducción de costos y mayor rentabilidad empresarial

Implementar el estudio de tiempos predeterminados permite a las empresas reducir costos en diversas áreas:

- Disminución del tiempo de producción, reduciendo los costos operativos.
- Optimización del uso de recursos, evitando desperdicio de materiales.
- Reducción de costos de mano de obra, al calcular la cantidad exacta de operarios necesarios.
- Menores costos logísticos, gracias a una planificación más eficiente de la producción y distribución.

Las empresas que logran reducir costos y aumentar su eficiencia pueden ofrecer precios más accesibles a los consumidores, fomentando la demanda y estimulando el crecimiento económico. Además, al ser más rentables, pueden invertir en expansión y desarrollo tecnológico, impulsando la innovación en el sector industrial.

Tema 2. Muestreo de Trabajo.

2.1. Conceptos generales de muestreo de trabajo.

El **Muestreo de Trabajo** es una técnica estadística utilizada en la ingeniería industrial para determinar la proporción de tiempo que los trabajadores o equipos dedican a diversas actividades dentro de un proceso productivo. En lugar de medir cada operación individualmente, el muestreo de trabajo toma observaciones aleatorias en distintos momentos para estimar la distribución del tiempo de trabajo y las actividades improductivas. (Niebel & Freivalds, 2009).

Fundamentos del Muestreo de Trabajo

1. **Toma de Muestras Aleatorias:** Se toman observaciones en momentos seleccionados al azar para asegurar la representatividad de los datos.
2. **Uso de Estadística para la Estimación:** Se basa en principios estadísticos para calcular la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.
3. **Tamaño de Muestra Adecuado:** Para obtener resultados confiables, se debe determinar el número correcto de observaciones necesarias.
4. **Menor Interferencia en el Proceso:** Al no requerir observación continua, permite realizar estudios sin afectar significativamente la operación.

Procedimiento del Muestreo del Trabajo

1. **Definir el objetivo:** Determinar el porcentaje de tiempo productivo.
2. **Seleccionar la población:** Elegir los operarios o máquinas a estudiar.
3. **Determinar el tamaño de la muestra:** Aplicando estadística para asegurar la validez del estudio.
4. **Tomar observaciones aleatorias:** En distintos momentos del día y en intervalos predefinidos.
5. **Registrar datos:** Clasificar cada observación como productiva o improductiva.
6. **Analizar los resultados:** Determinar el porcentaje de tiempo productivo. (Niebel & Freivalds, 2009).

Ventajas y desventajas del Muestreo de Trabajo.

Ventajas	Desventajas
• Menor costo y esfuerzo en comparación con estudios de tiempos detallados. • Reducción del sesgo al utilizar observaciones aleatorias. • Aplicable a tareas variables y múltiples trabajadores simultáneamente. • Menos interferencia en el proceso de producción.	• Mayor tiempo requerido para recopilar suficientes datos representativos. • Menor precisión en comparación con estudios cronométricos detallados. • Resultados dependen del tamaño y distribución de la muestra.

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas del muestreo de trabajo. Fuente: Elaboración propia en base a (Niebel & Freivalds, 2009).

Aplicaciones del Muestreo de Trabajo

1. Medición de la productividad: Identificar el porcentaje de tiempo efectivo de trabajo.
2. Determinación de estándares de tiempo: Para establecer estándares en procesos repetitivos.
3. Identificación de tiempos improductivos: Detección de cuellos de botella en la producción.
4. Balanceo de líneas de producción: Asegurar la distribución equitativa del trabajo.

Ejemplo Práctico de Muestreo de Trabajo

Situación: Una empresa quiere determinar el porcentaje de tiempo que los operarios de una línea de ensamblaje pasan realizando actividades productivas. Se toman 500 observaciones al azar en diferentes momentos del día, con los siguientes resultados:

- 400 observaciones: Trabajando en ensamblaje.
- 60 observaciones: Esperando material.
- 40 observaciones: Realizando ajustes o reparaciones.

Cálculo de la proporción de tiempo:

1. Porcentaje de tiempo productivo: $(400/500) \times 100 = 80\%$
2. Porcentaje de tiempo improductivo: $(100/500) \times 100 = 20\%$
 - Espera de material: $(60/500) \times 100 = 12\%$
 - Ajustes y reparaciones: $(40/500) \times 100 = 8\%$

Ejercicio Práctico

Problema: Un supervisor de producción desea evaluar el tiempo que los operarios dedican a tareas productivas en un taller de mecanizado. Se realizan 600 observaciones con los siguientes resultados:

- 480 observaciones: Operario trabajando.
- 70 observaciones: Operario en espera de instrucciones.
- 50 observaciones: Operario en mantenimiento de maquinaria.

Preguntas:

1. ¿Cuál es el porcentaje de tiempo que los operarios dedican a actividades productivas?
2. ¿Cuál es el porcentaje de tiempo improductivo, considerando espera y mantenimiento de maquinaria?

Respuestas:

1. Porcentaje de tiempo productivo: $(480/600) \times 100 = 80\%$
2. Porcentaje de tiempo improductivo: $(120/600) \times 100 = 20\%$
 - Espera de instrucciones: $(50/600) \times 100 = 8.33\%$
 - Mantenimiento: $(70/600) \times 100 = 11.67\%$

2.2. Objetivo de muestreo: determinación del porcentaje de tiempo productivo, determinación de tolerancias y cálculo del tiempo estándar.

El objetivo es obtener información precisa y representativa de la eficiencia de un sistema sin la necesidad de una observación continua.

Objetivos Principales del Muestreo

1. Determinar la proporción de tiempo utilizada en actividades productivas e improductivas dentro de un proceso de trabajo.
2. Establecer estándares de trabajo sin requerir estudios cronométricos extensivos.
3. Identificar ineficiencias en el proceso y oportunidades de mejora.
4. Optimizar la asignación de recursos para mejorar la productividad.
5. Analizar la carga de trabajo de los empleados y equipos para un mejor balanceo de tareas.
6. Obtener datos representativos con un menor costo y esfuerzo en comparación con estudios detallados de tiempos y movimientos. (Niebel & Freivalds, 2009).

Importancia del Muestreo en la Industria

El muestreo es una herramienta clave para la toma de decisiones en diversos sectores productivos. Permite a los gerentes y analistas de operaciones evaluar y mejorar la eficiencia de sus procesos mediante datos estadísticos confiables.

a) Determinación del porcentaje de tiempo productivo

El porcentaje de tiempo productivo (PTP) se calcula como:

$$PTP = (N_p / N_t) \times 100$$

N_p = es el número de observaciones en las que el operario o la máquina estaba en actividad productiva.

N_t = es el total de observaciones realizadas. (Lowry, Maynard & Stegemerten, 1940).

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Determinación de Tiempo Productivo

Se realizaron 1,000 observaciones en una línea de ensamblaje y se obtuvo lo siguiente: 750 observaciones en estado productivo y 250 observaciones en estado improductivo.

Aplicando la fórmula:

$PTP = (750/1000) \times 100 = 75\%$; Este resultado indica que el 75% del tiempo se utiliza en actividades productivas.

Ejercicio 1: Cálculo de Holgura

Un operario es observado 1,500 veces y se registran: 1,200 observaciones productivas y 300 observaciones no productivas.

Calcular el porcentaje de tiempo productivo y la holgura necesaria.

Solución: Cálculo del PTP $\rightarrow PTP = (1200/1500) \times 100 = 80\%$ y

La holgura necesaria sería: $\rightarrow H = 100 - PTP = 20\%$

b) Determinación de Tolerancias

Las tolerancias se calculan para ajustar el tiempo estándar y considerar factores humanos y técnicos.

La fórmula general es: $T = (H / 100) \times PTP$

donde:

- T es la tolerancia aplicada al tiempo productivo.

- H es el porcentaje de holgura asignado (basado en estudios previos o estándares de la industria).
- PTP es el porcentaje de tiempo productivo calculado. (Lowry, Maynard & Stegemerten, 1940).

Ejemplo 2: Cálculo de Tolerancias

Un operario es observado 1,500 veces y se registran: 1,200 observaciones productivas y 300 observaciones no productivas.

Calcular el porcentaje de tiempo productivo y la tolerancia necesaria considerando una holgura del 10%.

Solución: $PTP = (1200 / 1500) \times 100 = 80\%$

Cálculo de la tolerancia: $T = (10 / 100) \times 80 = 8\%$

Esto significa que el tiempo estándar debe incrementarse en un 8% para compensar factores inevitables.

c) Cálculo del tiempo estándar mediante muestreo del trabajo.

El cálculo del tiempo estándar es una herramienta fundamental en la ingeniería industrial y la gestión de la producción. Su determinación permite establecer tiempos de referencia para la ejecución de tareas dentro de un proceso productivo. El muestreo del trabajo es una técnica estadística eficiente para medir el tiempo estándar sin la necesidad de observaciones continuas, permitiendo optimizar recursos y mejorar la productividad.

Conceptos Básicos

- Tiempo normal (TN): Es el tiempo promedio que toma realizar una tarea en condiciones normales de operación.
- Tiempo estándar (TE): Es el tiempo normal ajustado con una tolerancia para compensar fatiga, demoras personales y otras interrupciones inevitables.
- Factor de holgura (H): Porcentaje adicional que se agrega al tiempo normal para contemplar interrupciones inevitables.
- Muestreo del trabajo: Técnica estadística que permite obtener una estimación del tiempo estándar mediante observaciones aleatorias de las actividades del trabajador. (Niegel & Freivalds, 2009).

Cálculo del Tiempo Estándar

El tiempo estándar se obtiene a partir del tiempo normal y el factor de holgura con la siguiente ecuación:

$$T_E = T_N \times (1 + H / 100)$$

donde:

- T_E es el tiempo estándar.
- T_N es el tiempo normal.
- H es el porcentaje de holgura asignado. (Lowry, Maynard & Stegemerten, 1940).

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Tiempo Normal

Un operario es observado en 1,200 ocasiones durante su turno, con 900 observaciones en actividad productiva. Calcular el tiempo normal si el turno laboral es de 8 horas.

Solución:

- Tiempo total del turno: 8 horas = 480 minutos.
- Porcentaje de tiempo productivo: $PTP = (900 / 1200) \times 100 = 75\%$
- Tiempo normal: $TN = (PTP/100) \times \text{Tiempo total} \rightarrow TN = (75 / 100) \times 480 = 360$ minutos

Ejemplo 2: Cálculo del Tiempo Estándar

Si en el ejemplo anterior se establece un factor de holgura del 15%, calcular el tiempo estándar.

Solución:

$TE = TN \times (1 + H / 100) \rightarrow TE = 360 \times (1 + 15 / 100) \rightarrow TE = 360 \times 1.15 = 414$ minutos
Esto indica que el tiempo estándar para la jornada laboral del operario es de 414 minutos.

Ejercicio 1: Determinación del Tiempo Estándar

Un trabajador es observado 1,500 veces, con 1,200 observaciones en actividad productiva. Su jornada laboral es de 7 horas y se asigna un factor de holgura del 10%. Determinar el tiempo estándar.

Solución:

1. Cálculo del PTP: $PTP = (1200 / 1500) \times 100 = 80\%$
2. Cálculo del TN: $TN = (80 / 100) \times 420 \text{ minutos} \rightarrow TN = 336$ minutos
3. Cálculo del TE: $TE = 336 \times (1 + 10 / 100) \rightarrow$ El tiempo estándar del trabajador es de 370 minutos.

El muestreo del trabajo es una técnica eficaz para la determinación del tiempo estándar, permitiendo obtener mediciones representativas sin necesidad de observaciones constantes. La aplicación de factores de holgura asegura que el tiempo estimado contemple las variaciones normales en el desempeño del operario. La correcta implementación de estos cálculos permite mejorar la eficiencia y la planificación de la producción.

2.3. Planeación y aplicación del estudio de muestreo de trabajo.

La planeación y aplicación del estudio de muestreo de trabajo es fundamental para optimizar la productividad de una organización. Con una correcta selección de muestras y un análisis estadístico adecuado, se pueden identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones informadas para incrementar la eficiencia en los procesos industriales.

Para garantizar resultados confiables en un estudio de muestreo de trabajo, es necesario seguir un proceso de planeación estructurado:

1. **Definir los objetivos del estudio:** Determinar qué se desea analizar (productividad, eficiencia, actividades improductivas, etc.).
2. **Seleccionar el proceso a estudiar:** Identificar el área de trabajo y los operarios o equipos involucrados.
3. **Determinar el tamaño de la muestra:** Calcular el número de observaciones necesarias para obtener un nivel de confianza adecuado.
4. **Establecer los horarios de observación:** Definir los intervalos de tiempo en los que se realizarán las observaciones.
5. **Diseñar formatos de recolección de datos:** Crear formularios o software para registrar las observaciones de manera estructurada. (Niebel & Freivalds, 2009).

El tamaño de la muestra se determina con la siguiente ecuación:

$$n = (Z^2 \times p \times q) / e^2$$

donde:

- **n** es el tamaño de la muestra.
- **Z** es el valor de la distribución normal para el nivel de confianza deseado.
- **p** es la proporción esperada de la actividad estudiada.
- **q** es la proporción complementaria (1 - p).
- **e** es el margen de error aceptado. (Niebel & Freivalds, 2009).

Aplicación del Estudio de Muestreo de Trabajo

Una vez realizada la planeación, se procede a la aplicación del estudio mediante los siguientes pasos:

1. **Realización de observaciones aleatorias:** Se registran las actividades de los operarios en distintos momentos del turno.
2. **Registro y clasificación de datos:** Se categorizan las observaciones en actividades productivas e improductivas.
3. **Análisis de la información:** Se calculan porcentajes y se elaboran gráficas de control.
4. **Interpretación de resultados:** Se comparan los valores obtenidos con los estándares de la industria.
5. **Propuesta de mejoras:** Se identifican oportunidades para optimizar el proceso.

El porcentaje de tiempo productivo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{PTP} = (N_p / N_t) \times 100$$

donde:

- **PTP** es el porcentaje de tiempo productivo.
- **N_p** es el número de observaciones de actividades productivas.
- **N_t** es el total de observaciones realizadas. (Niebel & Freivalds, 2009).

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Tamaño de la Muestra

Se desea realizar un estudio de muestreo de trabajo con un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$), una proporción esperada de actividades productivas de 80% y un margen de error del 5%. Calcular el número de observaciones necesarias.

Solución:

$$n = (1.96^2 \times 0.8 \times 0.2) / 0.05^2$$

$$n = (3.8416 \times 0.16) / 0.0025$$

$$n = 0.614656 / 0.0025 = 246 \text{ observaciones}$$

Se requieren al menos 246 observaciones para garantizar un nivel de confianza del 95%.

Ejemplo 2: Determinación del Porcentaje de Tiempo Productivo

En un estudio de muestreo de trabajo se realizaron 500 observaciones, de las cuales 350 corresponden a actividades productivas. Calcular el porcentaje de tiempo productivo.

Solución:

$$PTP = (350 / 500) \times 100 \rightarrow PTP = 0.7 \times 100 = 70\%$$

El porcentaje de tiempo productivo es del 70%.

Ejercicio 1: Determinación del Porcentaje de Actividades Improductivas

En un estudio se realizaron 600 observaciones y se registraron 420 actividades productivas. Calcular el porcentaje de actividades improductivas.

Solución:

1. Cálculo del PTP: $\rightarrow PTP = (420 / 600) \times 100 = 70\%$
2. Cálculo del porcentaje de actividades improductivas:
 $PI = 100 - PTP = 100 - 70 = 30\%$

El porcentaje de actividades improductivas es del 30%.

2.4. Diseño de formas de registro.

El diseño de formas de registro en un estudio de muestreo de trabajo es un aspecto fundamental para la recopilación, análisis e interpretación de datos. Una forma de registro bien diseñada permite estandarizar la recolección de información, minimizando errores y asegurando la confiabilidad del estudio. El correcto diseño de estas formas es clave para lograr un estudio representativo y útil para la mejora de los procesos productivos.

Conceptos Básicos

- **Forma de registro:** Documento estructurado que facilita la recolección de datos durante un estudio de muestreo de trabajo.
- **Muestreo de trabajo:** Técnica de observación aleatoria utilizada para estimar la distribución del tiempo en distintas actividades dentro de un proceso.
- **Frecuencia de observación:** Cantidad de veces que se registran datos en un período determinado.
- **Clasificación de actividades:** Diferenciación entre actividades productivas e improductivas para su análisis posterior.

Elementos del Diseño de Formas de Registro

Para que una forma de registro sea eficiente, debe contener los siguientes elementos:

1. Encabezado:

- Nombre del estudio.
- Fecha y hora de inicio y finalización.
- Responsable del estudio.
- Departamento o área de observación.

2. Tabla de Registro:

- Número de observación.
- Hora de la observación.
- Actividad registrada.
- Clasificación de la actividad (productiva o improductiva).

3. Resumen de Resultados:

- Total de observaciones.
- Cantidad de observaciones productivas.
- Cantidad de observaciones improductivas.
- Cálculo del porcentaje de actividades productivas e improductivas.

Procedimiento para la Aplicación de la Forma de Registro

1. Definir el objetivo del estudio.
2. Determinar el número de observaciones necesarias.
3. Diseñar la forma de registro con los elementos clave.
4. Capacitar a los observadores para el uso adecuado de la forma.
5. Realizar el estudio y registrar los datos.
6. Analizar e interpretar los resultados.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Diseño de una Forma de Registro

Se diseña una forma de registro para un estudio de muestreo de trabajo en una línea de ensamblaje. La forma debe incluir los siguientes datos:

Nº Obs	Hora	Actividad	Clasificación
1	08:00	Ensamblaje	Productiva
2	08:05	Espera de material	Improductiva
3	08:10	Inspección	Productiva
...	...	...	...

Tabla 2.2. Ejemplo de Diseño de una Forma de Registro.

Al final del estudio, se registraron 500 observaciones, con 380 productivas y 120 improductivas.

Cálculo del porcentaje de tiempo productivo:

$$PTP = (380 / 500) \times 100 \rightarrow PTP = 76\%$$

El porcentaje de tiempo productivo en la línea de ensamblaje es del 76%.

Ejemplo 2: Cálculo del Número de Observaciones Requeridas

Se desea realizar un estudio con un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$), una proporción estimada de actividades productivas de 75% y un margen de error del 5%. Calcular el número de observaciones necesarias.

Solución:

$$n = (1.96^2 \times 0.75 \times 0.25) / 0.05^2 \rightarrow n = (3.8416 \times 0.1875) / 0.0025$$

$$n = 0.7203 / 0.0025 = 288 \text{ observaciones}$$

Se requieren al menos 288 observaciones para garantizar un nivel de confianza del 95%

2.5. Selección del nivel de confianza y de precisión.

Selección del Nivel de Confianza y Precisión en un Muestreo de Trabajo

Introducción

En un estudio de muestreo de trabajo, la selección del nivel de confianza y la precisión es fundamental para garantizar la validez de los resultados obtenidos. Estas variables permiten determinar el grado de exactitud de los datos recopilados y su aplicabilidad en la toma de decisiones dentro de un proceso productivo. Un muestreo adecuado minimiza errores y mejora la confiabilidad del estudio.

La selección del nivel de confianza y la precisión en un muestreo de trabajo es un aspecto clave para obtener resultados confiables. Un mayor nivel de confianza requiere un número mayor de observaciones, pero reduce la probabilidad de error. La adecuada determinación de estas variables permite optimizar los recursos y mejorar la toma de decisiones en los procesos productivos.

Conceptos Básicos

- **Nivel de confianza (Z):** Probabilidad de que los resultados obtenidos reflejen la realidad del proceso estudiado. Comúnmente, se utilizan niveles del 90%, 95% o 99%.
- **Precisión (e):** Margen de error aceptable en el análisis de los datos, definido como la diferencia máxima permitida entre el valor estimado y el real.

- **Distribución normal:** Base estadística utilizada para determinar los valores de Z según el nivel de confianza seleccionado. (Gutiérrez & de la Vara, 2008).

Determinación del Nivel de Confianza y Precisión

Para determinar el número de observaciones necesarias en un muestreo de trabajo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = (Z^2 \times p \times q) / e^2$$

donde:

- **n** es el número de observaciones requeridas.
- **Z** es el valor correspondiente al nivel de confianza seleccionado.
- **p** es la proporción esperada de la actividad estudiada.
- **q** es la proporción complementaria (1 - p).
- **e** es el margen de error o precisión deseada. (Niebel & Freivalds, 2009).

Los valores de Z para distintos niveles de confianza son:

- **90%** → Z = 1.645
- **95%** → Z = 1.96
- **99%** → Z = 2.576 (Niebel & Freivalds, 2009).

Aplicaciones Prácticas

Para aplicar correctamente el nivel de confianza y precisión en un muestreo de trabajo, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir el objetivo del estudio.
2. Seleccionar un nivel de confianza acorde con la importancia del análisis.
3. Determinar la precisión deseada.
4. Calcular el número de observaciones necesarias.
5. Realizar las observaciones y validar los resultados.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Número de Observaciones

Un gerente desea realizar un estudio con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Se estima que el 70% del tiempo de los operarios es productivo. ¿Cuántas observaciones se requieren?

Solución:

$$n = (1.96^2 \times 0.7 \times 0.3) / 0.05^2 \rightarrow n = (3.8416 \times 0.21) / 0.0025$$

$$n = 0.8067 / 0.0025 = 323 \text{ observaciones}$$

Se requieren al menos 323 observaciones para garantizar un nivel de confianza del 95%.

Ejemplo 2: Variación del Nivel de Confianza

Si en el ejemplo anterior se decide aumentar el nivel de confianza al 99%, ¿cuántas observaciones serían necesarias?

Solución:

$$n = (2.576^2 \times 0.7 \times 0.3) / 0.05^2$$

$$n = (6.6358 \times 0.21) / 0.0025$$

$$n = 1.3935 / 0.0025 = 558 \text{ observaciones}$$

El aumento del nivel de confianza al 99% requiere 558 observaciones, en comparación con las 323 observaciones necesarias para un 95%.

Ejercicio 1: Determinación de la Precisión

En un estudio de muestreo de trabajo, se estima que el porcentaje de tiempo productivo es del 80%. Si se dispone de 400 observaciones y se requiere un nivel de confianza del 95%, ¿cuál es el margen de error?

Solución:

Reorganizando la ecuación para despejar e:

$$e = \sqrt{\frac{Z^2 pq}{n}}$$

$$e = \sqrt{\frac{(1.96^2)(0.8)(0.2)}{400}} \rightarrow e = \sqrt{\frac{(3.8416)(0.16)}{400}} \rightarrow e = \sqrt{\frac{(0.614656)}{400}} \rightarrow e = \sqrt{0.001536} = 0.0392$$

El margen de error es del 3.92%.

2.6. Determinación de horarios aleatorios.

Determinación de Horarios Aleatorios en un Muestreo de Trabajo

El muestreo de trabajo es una técnica utilizada para evaluar la proporción de tiempo que los trabajadores dedican a diferentes actividades en un proceso. La determinación de horarios aleatorios es un aspecto clave en este tipo de estudio, ya que garantiza que las observaciones sean representativas y minimicen sesgos.

Conceptos Básicos

- **Muestreo de trabajo:** Método estadístico que permite estudiar la distribución del tiempo en diferentes actividades mediante observaciones aleatorias.
- **Horarios aleatorios:** Períodos de tiempo seleccionados de manera no sistemática para realizar las observaciones.
- **Distribución uniforme:** Técnica estadística utilizada para generar tiempos de observación aleatorios dentro de un intervalo determinado.
- **Intervalo de muestreo:** Período total dentro del cual se realizarán las observaciones. (Maynard, 2001).

Procedimiento para la Determinación de Horarios Aleatorios

Para garantizar la representatividad del muestreo, los horarios de observación deben ser seleccionados aleatoriamente. Este procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. **Definir el período de estudio:** Establecer la jornada laboral o el turno a analizar.
2. **Determinar el número de observaciones necesarias:** Aplicar la fórmula del tamaño de la muestra.
3. **Generar horarios aleatorios:** Utilizar números aleatorios para distribuir equitativamente las observaciones.
4. **Asignar los horarios de observación:** Distribuir los tiempos generados dentro de la jornada laboral.
5. **Registrar las observaciones:** Realizar el estudio en los tiempos seleccionados.

Los horarios aleatorios se generan utilizando la siguiente ecuación:

$$T = I_1 + R \times (I_2 - I_1)$$

donde:

- **T** es el horario aleatorio seleccionado.
- **I₁** es el inicio del período de observación.
- **I₂** es el final del período de observación.
- **R** es un número aleatorio entre 0 y 1. (Lowry, Maynard & Stegemerten, 1940).

Aplicaciones Prácticas

Para aplicar correctamente la determinación de horarios aleatorios en un muestreo de trabajo, se recomienda:

1. Evitar patrones fijos de observación que puedan inducir sesgos.
2. Utilizar generadores de números aleatorios para distribuir equitativamente las observaciones.
3. Cubrir todo el turno de trabajo asegurando una distribución representativa de las observaciones.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Generación de Horarios Aleatorios

Un estudio de muestreo de trabajo se realizará en un turno de 8:00 a 16:00 con 5 observaciones. Se generan números aleatorios: 0.12, 0.45, 0.78, 0.30, 0.90.

Solución:

Aplicamos la ecuación: $T = 8:00 + R \times (16:00 - 8:00)$

Tabla de Horarios Aleatorios

Nº	R	Cálculo	Horario Aleatorio
1	0.12	$8:00 + (0.12 \times 8)$	8:58 AM
2	0.45	$8:00 + (0.45 \times 8)$	11:36 AM
3	0.78	$8:00 + (0.78 \times 8)$	14:14 PM
4	0.30	$8:00 + (0.30 \times 8)$	10:24 AM
5	0.90	$8:00 + (0.90 \times 8)$	15:12 PM

Tabla 2.3. Horarios aleatorios calculados para 5 observaciones.

Los horarios de observación serán: 8:58 AM, 11:36 AM, 14:14 PM, 10:24 AM y 15:12 PM.

Ejemplo 2: Cálculo del Número de Observaciones Requeridas

Se desea realizar un estudio con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Se estima que el 65% del tiempo es productivo. ¿Cuántas observaciones se requieren?

Solución: $n = (1.96^2 \times 0.65 \times 0.35) / 0.05^2 \rightarrow n = (3.8416 \times 0.2275) / 0.0025$
 $n = 0.8747 / 0.0025 = 350$ observaciones

Se requieren al menos 350 observaciones para garantizar un nivel de confianza del 95%.

Ejercicio 1: Generación de Horarios Aleatorios

En un turno de 7:00 a 15:00 se realizarán 4 observaciones. Se generan los números aleatorios: 0.10, 0.50, 0.75, 0.95. Calcular los horarios de observación.

Solución:

Aplicamos la ecuación: $T = 7:00 + R \times (15:00 - 7:00)$

Tabla de Horarios Aleatorios de Ejercicio 1

Nº	R	Cálculo	Horario Aleatorio
1	0.10	$7:00 + (0.10 \times 8)$	7:48 AM
2	0.50	$7:00 + (0.50 \times 8)$	11:00 AM
3	0.75	$7:00 + (0.75 \times 8)$	13:00 PM
4	0.95	$7:00 + (0.95 \times 8)$	14:36 PM

Tabla 2.4. Horarios aleatorios calculados para 4 observaciones.

Los horarios de observación serán: 7:48 AM, 11:00 AM, 13:00 PM y 14:36 PM.

2.7. Registro concentrado de observaciones.

El registro concentrado de observaciones en un muestreo de trabajo permite analizar la distribución del tiempo en diferentes actividades, facilitando la toma de decisiones basada en datos objetivos. Su correcta aplicación contribuye a la mejora de la eficiencia operativa y la identificación de oportunidades de optimización en los procesos industriales.

El registro concentrado de observaciones en un muestreo de trabajo es un método que permite recopilar y organizar datos de manera estructurada para analizar la proporción de tiempo dedicado a distintas actividades dentro de un proceso productivo. Esta técnica facilita la interpretación de la información obtenida, permitiendo la identificación de oportunidades de mejora en la eficiencia operativa.

Conceptos Básicos

- Muestreo de trabajo: Método estadístico utilizado para estimar el porcentaje de tiempo empleado en actividades productivas e improductivas mediante observaciones aleatorias.
- Registro concentrado: Forma de organizar y agrupar datos obtenidos en un estudio de muestreo para su posterior análisis.
- Frecuencia de observaciones: Número de veces que una actividad es registrada en un período determinado.
- Tasa de actividad: Relación entre el número de observaciones de una actividad específica y el total de observaciones realizadas.

Procedimiento para el Registro Concentrado de Observaciones

Para realizar un registro concentrado efectivo en un muestreo de trabajo, se siguen los siguientes pasos:

1. Definir los objetivos del estudio: Determinar qué actividades serán analizadas y con qué propósito.
2. Diseñar la hoja de registro: Incluir campos para el número de observación, hora, actividad registrada y clasificación (productiva o improductiva).
3. Realizar las observaciones aleatorias: Registrar cada observación según el plan establecido.
4. Agrupar y clasificar los datos: Organizar la información recopilada en tablas o gráficos.
5. Calcular los porcentajes de cada actividad: Determinar la proporción de tiempo dedicado a cada tarea utilizando la siguiente ecuación:

$$PA = (Na / Nt) \times 100$$

donde:

- **PA** es el porcentaje de actividad.
- **Na** es el número de observaciones de la actividad específica.
- **Nt** es el total de observaciones registradas. (Niebel & Freivalds, 2009).

Aplicaciones Prácticas

El registro concentrado se aplica en múltiples escenarios industriales y de servicios, tales como: Análisis de productividad en líneas de ensamblaje; Evaluación del tiempo improductivo en operarios de manufactura e Identificación de cuellos de botella en procesos logísticos.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Registro de Actividades en una Línea de Ensamblaje

En un estudio de muestreo de trabajo, se realizaron 600 observaciones y se obtuvo la siguiente distribución:

Actividad	Observaciones	Porcentaje
Ensamblaje	360	60%
Inspección	120	20%
Espera de material	80	13%
Mantenimiento	40	7%

Tabla 2.5. Concentrado de porcentajes del muestreo de Línea de Ensamblaje.

Solución: Aplicamos la ecuación para cada actividad:

$$PA(\text{Ensamblaje}) = (360 / 600) \times 100 = 60\%$$

$$PA(\text{Inspección}) = (120 / 600) \times 100 = 20\%$$

$$PA(\text{Espera de material}) = (80 / 600) \times 100 = 13.33\%$$

$$PA(\text{Mantenimiento}) = (40 / 600) \times 100 = 6.67\%$$

Esto indica que el 60% del tiempo se dedica a ensamblaje, el 20% a inspección, el 13.33% a espera de material y el 6.67% a mantenimiento.

Ejemplo 2: Determinación del Tiempo Productivo

Un operario es observado 800 veces y se registran 600 observaciones en actividades productivas. Calcular el porcentaje de tiempo productivo.

Solución: $\rightarrow PTP = (600 / 800) \times 100 \rightarrow PTP = 75\%$

El porcentaje de tiempo productivo del operario es del 75%.

Ejercicio 1: Registro y Análisis de Observaciones

En un estudio de muestreo de trabajo, se registraron 500 observaciones con la siguiente distribución:

Actividad	Observaciones
Producción	350
Inspección	90
Tiempo muerto	60

Tabla 2.6. Concentrado de 500 observaciones de un muestreo.

Calcular el porcentaje de cada actividad.

Solución:

1. $PA(\text{Producción}) = (350 / 500) \times 100 = 70\%$
2. $PA(\text{Inspección}) = (90 / 500) \times 100 = 18\%$
3. $PA(\text{T tiempo muerto}) = (60 / 500) \times 100 = 12\%$

Los resultados indican que el 70% del tiempo se dedica a producción, el 18% a inspección y el 12% corresponde a tiempo muerto.

2.8. Análisis de la información registrada.

El análisis de la información registrada en un muestreo de trabajo permite evaluar la eficiencia operativa y detectar áreas de mejora dentro de un proceso productivo. La correcta interpretación de los datos facilita la optimización de recursos, la reducción de tiempos improductivos y la toma de decisiones estratégicas basadas en información cuantificable.

Análisis de la Información Registrada en un Muestreo de Trabajo

El análisis de la información registrada en un muestreo de trabajo es una fase crítica para la toma de decisiones en la optimización de procesos productivos. Una vez recolectadas las observaciones, se deben procesar y evaluar los datos para identificar patrones, calcular tiempos productivos e improductivos y realizar mejoras en la eficiencia operativa.

Conceptos Básicos

- Muestreo de trabajo: Técnica estadística utilizada para determinar la proporción de tiempo dedicada a distintas actividades dentro de un proceso productivo mediante observaciones aleatorias.
- Frecuencia de actividad: Número de veces que una actividad es registrada en el muestreo.
- Porcentaje de actividad: Proporción de observaciones dedicadas a cada actividad respecto al total.
- Tasa de productividad: Relación entre el tiempo dedicado a actividades productivas y el total de observaciones realizadas.

Procedimiento para el Análisis de la Información Registrada

Para interpretar correctamente los datos obtenidos en un muestreo de trabajo, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Organizar los datos: Clasificar las observaciones según la actividad registrada.
2. Determinar la frecuencia de cada actividad: Contabilizar el número de veces que aparece cada actividad en el muestreo.
3. Calcular los porcentajes de cada actividad: Determinar la proporción de tiempo dedicada a cada tarea mediante la siguiente ecuación:

$$PA = (Na / Nt) \times 100$$

donde:

- **PA** es el porcentaje de actividad.
 - **Na** es el número de observaciones de la actividad específica.
 - **Nt** es el total de observaciones registradas. (Niebel & Freivalds, 2009).
4. Determinar el porcentaje de tiempo productivo e improductivo: Utilizar la ecuación:

$$PTP = (Np / Nt) \times 100$$

donde:

- **PTP** es el porcentaje de tiempo productivo.
- **Np** es el número de observaciones productivas.
- **Nt** es el total de observaciones. (Niebel & Freivalds, 2009).

5. Representación gráfica: Construir gráficos de barras o diagramas circulares para visualizar la distribución de actividades.
6. Interpretación de resultados y propuesta de mejoras: Identificar áreas de mejora basadas en los datos obtenidos.

Aplicaciones Prácticas

El análisis de información en un muestreo de trabajo se aplica en múltiples industrias para: Evaluar la eficiencia de los operarios en líneas de producción; Identificar tiempos improductivos y desperdicios en procesos logísticos y Mejorar la asignación de recursos en operaciones de manufactura y servicios.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Análisis de Observaciones en un Proceso de Manufactura

En un estudio de muestreo de trabajo, se realizaron 500 observaciones y se obtuvo la siguiente distribución:

Actividad	Observaciones	Porcentaje
Ensamblaje	300	?
Inspección	100	?
Tiempo muerto	50	?
Mantenimiento	50	?

Tabla 2.7. Concentrado de 500 observaciones de un muestreo de un proceso de manufactura.

Solución:

Aplicamos la ecuación para cada actividad:

$$PA(\text{Ensamblaje}) = (300 / 500) \times 100 = 60\%$$

$$PA(\text{Inspección}) = (100 / 500) \times 100 = 20\%$$

$$PA(\text{T tiempo muerto}) = (50 / 500) \times 100 = 10\%$$

$$PA(\text{Mantenimiento}) = (50 / 500) \times 100 = 10\%$$

Esto indica que el 60% del tiempo se dedica a ensamblaje, el 20% a inspección, el 10% a tiempo muerto y el 10% a mantenimiento.

Ejemplo 2: Determinación del Tiempo Productivo

En un estudio de muestreo de trabajo, se registraron 800 observaciones, con 600 en actividades productivas. Calcular el porcentaje de tiempo productivo.

Solución: $\rightarrow PTP = (600 / 800) \times 100 \rightarrow PTP = 75\%$

El porcentaje de tiempo productivo del operario es del 75%.

Ejercicio 1: Registro y Análisis de Observaciones

En un estudio de muestreo de trabajo, se registraron 600 observaciones con la siguiente distribución:

Actividad	Observaciones
Producción	400
Inspección	120
Tiempo muerto	80

Tabla 2.8. Concentrado de 600 observaciones de un muestreo.

Calcular el porcentaje de cada actividad.

Solución:

1. $PA(\text{Producción}) = (400 / 600) \times 100 = 66.67\%$
2. $PA(\text{Inspección}) = (120 / 600) \times 100 = 20\%$
3. $PA(\text{Tiempo muerto}) = (80 / 600) \times 100 = 13.33\%$

Los resultados indican que el 66.67% del tiempo se dedica a producción, el 20% a inspección y el 13.33% corresponde a tiempo muerto.

2.9. Elaboración de gráficas de control.

Elaboración de Gráficas de Control en un Muestreo de Trabajo

Las gráficas de control son herramientas estadísticas utilizadas en el muestreo de trabajo para monitorear la variabilidad de un proceso y detectar posibles mejoras en la eficiencia operativa. Estas gráficas permiten visualizar la distribución del tiempo en distintas actividades productivas e improductivas, facilitando la toma de decisiones basadas en datos objetivos.

Conceptos Básicos

- **Muestreo de trabajo:** Técnica que permite estimar la proporción de tiempo dedicada a distintas actividades mediante observaciones aleatorias.
- **Gráficas de control:** Representaciones gráficas utilizadas para analizar la variabilidad de un proceso y determinar si se encuentra bajo control estadístico.
- **Límites de control:** Valores que determinan los rangos de variación aceptables dentro de un proceso.
- **Frecuencia de actividad:** Número de veces que se registra una actividad en un período determinado.

Tipos de Gráficas de Control Utilizadas en el Muestreo de Trabajo

Para analizar la información recopilada en un muestreo de trabajo, se pueden utilizar distintas gráficas de control, entre ellas:

1. Gráficas de Barras: Representan la frecuencia de cada actividad observada en un período determinado.
2. Gráficas de Pastel: Muestran la proporción de tiempo dedicado a cada actividad en términos porcentuales.
3. Gráficas de Tendencia: Analizan la evolución del tiempo productivo e improductivo a lo largo del tiempo.
4. Gráficas de Control para Proporciones (p-chart): Se utilizan para evaluar la estabilidad del proceso en términos de actividades productivas e improductivas.

Procedimiento para la Elaboración de Gráficas de Control

Para la construcción de una gráfica de control en un muestreo de trabajo, se siguen los siguientes pasos:

1. Recopilar y organizar los datos: Registrar el número de observaciones y clasificarlas por actividad.
2. Calcular los porcentajes de cada actividad: Determinar la proporción de tiempo dedicado a cada tarea mediante la ecuación:

$$PA = (Na / Nt) \times 100$$

donde:

- **PA** es el porcentaje de actividad.
 - **Na** es el número de observaciones de la actividad específica.
 - **Nt** es el total de observaciones registradas. (Niebel & Freivalds, 2009).
3. Determinar los límites de control: Para una gráfica de control de proporciones (p-chart), se utilizan las siguientes ecuaciones:
 4. $\bar{p} = \Sigma p_i / k$
 5. $UCL = \bar{p} + 3\sqrt{((\bar{p}(1 - \bar{p})) / n)}$
 6. $LCL = \bar{p} - 3\sqrt{((\bar{p}(1 - \bar{p})) / n)}$
 7. donde:
 - $\bar{p}$ es la proporción promedio de la actividad productiva.
 - **UCL** es el límite superior de control.
 - **LCL** es el límite inferior de control.
 - **n** es el número de observaciones en cada muestra.
 - **k** es el número total de muestras. (Gutiérrez & de la Vara, 2008).

8. Construir la gráfica: Representar los valores obtenidos en un gráfico y analizar su comportamiento.
9. Interpretar los resultados y proponer mejoras: Identificar tendencias, variabilidad inusual o desviaciones del control estadístico.

Aplicaciones Prácticas

Las gráficas de control en un muestreo de trabajo se utilizan en diversos sectores industriales y de servicios para:

- Monitorear la eficiencia de operarios en líneas de ensamblaje.
- Detectar tiempos improductivos en procesos de manufactura.
- Evaluar la estabilidad de un proceso productivo.
- Identificar mejoras en la gestión de recursos.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Elaboración de una Gráfica de Barras

Se realizó un muestreo de trabajo en una planta de producción automotriz con 600 observaciones y la siguiente distribución:

Actividad	Observaciones
Producción	350
Inspección	120
Tiempo muerto	80
Mantenimiento	50

Tabla 2.9. Acumulado de Observaciones de un muestreo planta de producción automotriz.

Solución:

Se calculan los porcentajes:

1. $PA(\text{Producción}) = (350 / 600) \times 100 = 58.33\%$
2. $PA(\text{Inspección}) = (120 / 600) \times 100 = 20\%$
3. $PA(\text{Tiempo muerto}) = (80 / 600) \times 100 = 13.33\%$
4. $PA(\text{Mantenimiento}) = (50 / 600) \times 100 = 8.33\%$

Estos valores se representan en una gráfica de barras para visualizar la distribución del tiempo.

Ejemplo 2: Construcción de una Gráfica de Control para Proporciones (p-chart)
En un proceso de producción se realizaron 10 muestras de 50 observaciones cada una, obteniendo las siguientes proporciones de tiempo productivo:

Observaciones de Tpo. Productivo	Total de Observaciones	Proporción
38	50	0.76
36	50	0.72
39	50	0.78
37	50	0.74
38	50	0.76
37	50	0.74
40	50	0.80
39	50	0.78
38	50	0.76
37	50	0.74
		0.758

Tabla 2.10. Muestreo 500 observaciones para una (p-chart) de Proporciones.

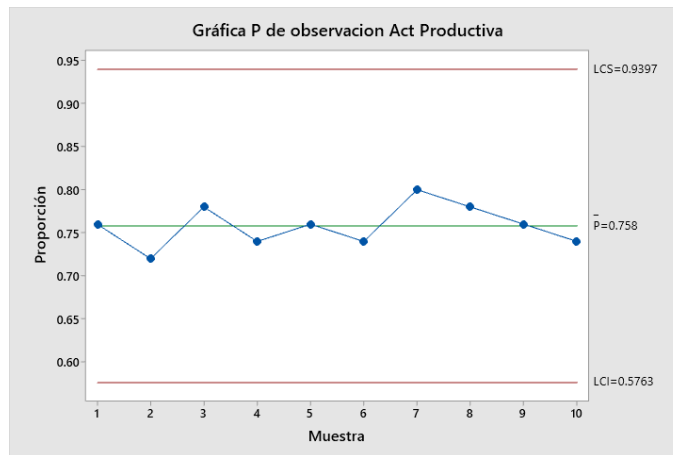
$$\bar{p} = (0.76 + 0.72 + 0.78 + 0.74 + 0.76 + 0.74 + 0.80 + 0.78 + 0.76 + 0.74) / 10 = 0.758$$

Se calculan los límites de control:

$$UCL = 0.758 + 3\sqrt{((0.758(1 - 0.758)) / 50)} = 0.758 + 3\sqrt{(0.183436 / 50)} = 0.9397$$

$$LCL = 0.758 - 3\sqrt{((0.758(1 - 0.758)) / 50)} = 0.5763$$

Los valores se representan en la gráfica de control para analizar la estabilidad del proceso.



Gráfica 2.1. (P-chart) de Control de Proporciones de Tiempo Productivo.

La elaboración de gráficas de control en un muestreo de trabajo permite analizar la variabilidad de un proceso y detectar oportunidades de mejora. Estas herramientas estadísticas facilitan la toma de decisiones basadas en datos y ayudan a mantener la estabilidad operativa dentro de un sistema productivo.

Conclusiones.

El **muestreo de trabajo** es una técnica estadística utilizada en la ingeniería industrial para medir la eficiencia y productividad de los procesos dentro de una empresa. Su aplicación permite a las organizaciones optimizar la utilización de los recursos, reducir costos y mejorar la calidad del trabajo, impactando directamente en la rentabilidad empresarial:

1. Reducción de costos operativos y aumento de la productividad.

El muestreo de trabajo permite a las empresas analizar la distribución del tiempo de trabajo y detectar ineficiencias en sus procesos operativos. Gracias a esto, las empresas pueden:

- Eliminar tiempos improductivos, reduciendo costos relacionados con personal y recursos infrautilizados.
- Optimizar el uso de la maquinaria y equipos, disminuyendo costos de mantenimiento innecesario y mejorando la planificación de reparaciones.
- Reducir el desperdicio de materiales, lo que impacta en la disminución de costos de producción.
- Maximizar el tiempo efectivo de trabajo, asegurando que cada empleado o equipo contribuya al proceso productivo de manera óptima.

Cuando se reducen los costos operativos y aumenta la productividad, la rentabilidad de la empresa se incrementa porque se producen más bienes o servicios con menos recursos.

2. Optimización de la asignación de recursos humanos.

El muestreo de trabajo permite analizar la carga laboral de los empleados y determinar si existen desbalances en la asignación de tareas. Esto beneficia a la rentabilidad de la empresa de las siguientes maneras:

- Evita la sobrecarga de trabajo, lo que reduce el agotamiento de los empleados y mejora su desempeño.
- Permite distribuir mejor las tareas, asegurando que el personal esté asignado donde sea más eficiente.
- Facilita la identificación de la necesidad real de contratación de personal, evitando costos innecesarios en salarios y beneficios.
- Mejora la motivación y satisfacción laboral, reduciendo el ausentismo y la rotación de empleados, lo que disminuye los costos de reclutamiento y capacitación.

Un equipo bien distribuido y motivado trabaja con mayor eficiencia, impactando directamente en la reducción de costos laborales y el aumento de la productividad.

3. Reducción de tiempos muertos y mejora del flujo de producción

Los tiempos muertos representan una de las principales fugas de rentabilidad en las empresas. Gracias al muestreo de trabajo, las organizaciones pueden:

- Detectar demoras en los procesos y eliminarlas o reducirlas.
- Optimizar los tiempos de espera entre operaciones, evitando cuellos de botella que afecten la producción.
- Sincronizar mejor la cadena de producción, asegurando que cada proceso fluya sin interrupciones innecesarias.
- Mejorar la planificación de turnos de trabajo, reduciendo los períodos de inactividad.

Una empresa que reduce los tiempos improductivos genera más productos en menos tiempo, aumentando así sus márgenes de ganancia y su competitividad en el mercado.

4. Incremento en la calidad del producto o servicio.

El muestreo de trabajo no solo ayuda a mejorar la eficiencia, sino que también permite detectar errores en la producción y mejorar la calidad de los productos y servicios. Esto se traduce en:

- Reducción de defectos y retrabajos, disminuyendo costos por desperdicios o garantías.
- Mejora en la satisfacción del cliente, lo que fortalece la lealtad y la reputación de la empresa.
- Mayor eficiencia en los procesos de control de calidad, reduciendo tiempos y costos en inspecciones.
- Mayor cumplimiento con estándares de certificación, lo que facilita la entrada a mercados más exigentes.

Una mejor calidad del producto o servicio reduce las pérdidas económicas asociadas a devoluciones o reclamos y aumenta la rentabilidad al fidelizar clientes y captar nuevos mercados.

5. Mejora en la toma de decisiones estratégicas.

El muestreo de trabajo proporciona datos reales sobre el desempeño de la empresa, lo que permite a los gerentes y directivos tomar decisiones estratégicas con mayor precisión. Esto impacta en la rentabilidad al:

- Identificar áreas de mejora en tiempo real, optimizando la asignación de recursos.
- Facilitar la planificación financiera y operativa, reduciendo costos inesperados.
- Ayudar en la fijación de precios, permitiendo conocer los costos reales de producción.
- Mejorar la rentabilidad por línea de productos, identificando cuáles generan mayores beneficios y cuáles necesitan ajustes.

Las empresas que toman decisiones basadas en datos confiables y actualizados logran una mayor estabilidad financiera y una gestión eficiente de sus recursos.

6. Impacto en la competitividad y expansión del mercado.

Cuando una empresa mejora su productividad mediante el muestreo de trabajo, puede aumentar su capacidad de producción sin incrementar sus costos operativos. Esto le permite:

- Expandir su presencia en el mercado, al poder atender una mayor demanda.
- Mejorar su posición competitiva, ofreciendo precios más atractivos sin sacrificar márgenes de ganancia.
- Reducir costos de exportación, al optimizar la producción y logística.
- Atraer inversores y socios estratégicos, al demostrar un modelo de negocio eficiente y rentable.

Una empresa más competitiva puede crecer de manera sostenible, lo que impacta positivamente en su rentabilidad a largo plazo.

7. Contribución a la sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.

El muestreo de trabajo también juega un papel clave en la sostenibilidad empresarial, ya que permite:

- Reducir el desperdicio de materiales y energía, disminuyendo costos y la huella ambiental.

- Optimizar el uso de los recursos naturales, alineándose con normativas ecológicas y obteniendo certificaciones ambientales.
- Implementar procesos de manufactura más sostenibles, lo que mejora la reputación corporativa.
- Evitar sanciones económicas por incumplimientos ambientales, reduciendo riesgos financieros.

Las empresas que adoptan estrategias de eficiencia y sostenibilidad no solo reducen costos, sino que también aumentan su rentabilidad a largo plazo al atraer consumidores y socios que valoran la responsabilidad social y ambiental.

El muestreo de trabajo es una herramienta clave para mejorar la rentabilidad de una empresa, ya que permite:

1. Reducir costos operativos, optimizando el uso de recursos y eliminando ineficiencias.
2. Maximizar la productividad, aumentando la cantidad de bienes o servicios producidos sin incrementar los costos.
3. Optimizar la distribución de recursos humanos, asegurando una carga de trabajo equilibrada y eficiente.
4. Reducir los tiempos muertos, mejorando el flujo de producción y la eficiencia operativa.
5. Mejorar la calidad del producto o servicio, reduciendo costos por defectos y aumentando la satisfacción del cliente.
6. Facilitar la toma de decisiones estratégicas, permitiendo una mejor planificación financiera y operativa.
7. Incrementar la competitividad de la empresa, permitiendo la expansión a nuevos mercados y la atracción de inversores.
8. Promover la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental, generando beneficios económicos y reputacionales a largo plazo.

Las empresas que implementan el muestreo de trabajo como parte de su estrategia de mejora continua logran una mayor rentabilidad, estabilidad financiera y crecimiento sostenido, asegurando su éxito en el mercado global.

2.10. Uso de Software estadístico Minitab 19 y Excel para el muestreo del trabajo.

Ejemplo: Muestreo del Trabajo en una Línea de Ensamble

Un supervisor quiere evaluar la eficiencia de un operario en una línea de producción utilizando la técnica de muestreo del trabajo. Se realizan observaciones aleatorias

durante un turno de 8 horas para determinar el porcentaje de tiempo productivo e improductivo.

Recopilación de Datos

Se registran **50 observaciones** en diferentes momentos del turno, clasificando cada observación en: **Trabajo Productivo (P)**, **Tiempo Ocioso (O)**

Observaciones de Muestreo del Trabajo

Obs.	Estado	Obs.	Estado	Obs.	Estado	Obs.	Estado	Obs.	Estado
1	P	11	P	21	P	31	P	41	P
2	P	12	P	22	P	32	P	42	O
3	O	13	P	23	O	33	O	43	P
4	P	14	P	24	P	34	P	44	P
5	P	15	O	25	P	35	P	45	P
6	O	16	P	26	P	36	P	46	O
7	P	17	P	27	O	37	O	47	P
8	P	18	O	28	P	38	P	48	P
9	P	19	P	29	P	39	P	49	P
10	O	20	P	30	O	40	P	50	O

Tabla 2.11. Muestreo a operario de línea de producción durante 8 horas.

Procedimiento en Minitab 19

Para analizar los datos en Minitab 19, seguimos estos pasos:

A. Ingreso de Datos en Minitab

1. Abre Minitab 19 y crea una nueva hoja de trabajo.
2. En la Columna C1, nómbrala "Observación" e ingresa los números del 1 al 50.
3. En la Columna C2, nómbrala "Estado" y registra los valores ("P" o "O").

B. Análisis Estadístico en Minitab

Cálculo de Frecuencias

1. Ve a Estadísticas > Tablas > Cuenta de Variables individuales.
2. Selecciona la variable "Estado".
3. Activa Mostrar conteos y porcentajes.

Minitab generará una tabla con el porcentaje de tiempo productivo e improductivo.

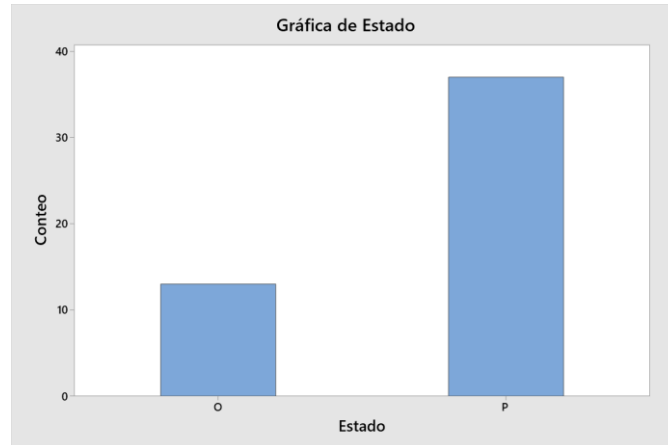
Frecuencia de Estados

Contar		
Estado	Conteo	Porcentaje
O	13	26.00
P	37	74.00
N=	50	

Tabla 2.12. Frecuencia de estados de Muestreo a operario usando Minitab.

Gráfico de Barras

1. Ve a Gráficos > Gráfica de barras > Categórica simple.
2. Selecciona la columna "Estado".
3. Esto generará un gráfico de barras mostrando la proporción de tiempo productivo e improductivo.



Grafica 2.2. Porcentajes de estados de muestreo a operario usando Minitab.

Procedimiento en Excel

Para complementar el análisis, en Excel puedes:

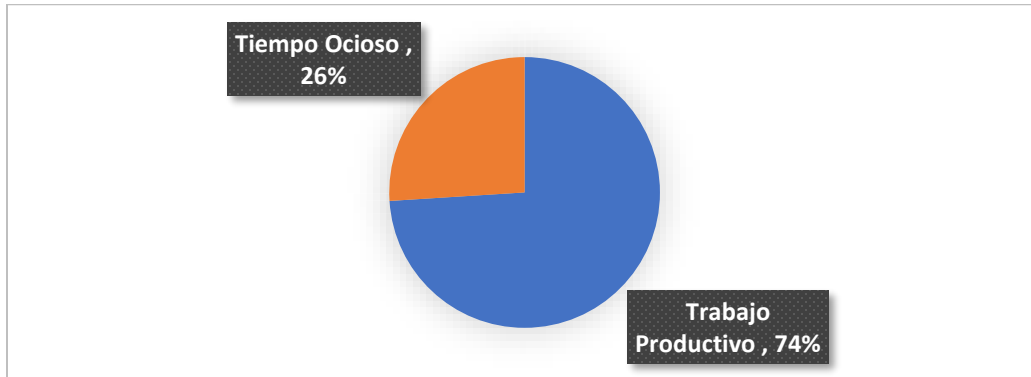
1. Crear una tabla de frecuencia con el conteo de "P" y "O".
2. Usar la función CONTAR.SI() para contar cada categoría:

=CONTAR.SI(B2:B51, "P") =CONTAR.SI(B2:B51, "O")

Calcular los porcentajes de cada estado:

= (Número de "P") / 50 * 100 = (Número de "O") / 50 * 100

Crear un gráfico de pastel o barras para visualizar la Distribución del tiempo.



Grafica 2.3. Porcentajes de estados de muestreo a operario usando Excel.

El análisis indica que el operario pasa 74% de su tiempo trabajando y 26% en inactividad.

- Si el tiempo improductivo es alto, se pueden investigar causas como espera de material, fallas en maquinaria o pausas excesivas.
- El muestreo del trabajo ayuda a tomar decisiones sobre mejoras en productividad.

Tema 3. Balanceo de Líneas.

3.1. Conceptos generales de balanceo de líneas.

El balanceo de líneas es una herramienta esencial para optimizar la producción y reducir costos. Su correcta implementación mejora la productividad y minimiza los tiempos improductivos en una línea de producción.

Introducción

El balanceo de líneas es una técnica de optimización utilizada en la producción y ensamblaje para distribuir equitativamente la carga de trabajo entre estaciones de trabajo dentro de una línea de producción. Su objetivo es minimizar los tiempos ociosos, mejorar la eficiencia del sistema y reducir costos operativos.

Conceptos Básicos

- **Línea de producción:** Conjunto de estaciones de trabajo donde se realizan operaciones sucesivas sobre un producto.
- **Ciclo de trabajo:** Tiempo máximo permitido para completar las tareas en una estación de trabajo sin generar retrasos.
- **Estaciones de trabajo:** Áreas en las que se ejecutan operaciones específicas sobre un producto.
- **Tiempos de tarea:** Duración de cada actividad en la línea de producción.
- **Tasa de producción:** Número de unidades que deben ser producidas en un período de tiempo. (Boysen, Fliedner & Scholl, 2007).

Métodos de Balanceo de Líneas

Existen diversas técnicas para balancear líneas de producción, entre ellas:

1. **Método de asignación de tareas:** Consiste en distribuir las tareas entre las estaciones minimizando el tiempo improductivo.
2. **Método de tiempo de ciclo mínimo:** Se determina el tiempo mínimo necesario para producir una unidad sin generar cuellos de botella.
3. **Método heurístico:** Usa aproximaciones como el algoritmo de Ranked Positional Weight (RPW) para asignar tareas de forma óptima.
4. **Modelo de programación lineal:** Se utilizan técnicas matemáticas para minimizar la diferencia entre la capacidad de las estaciones. (Rekiek & Delchambre, 2006).

Cálculo del Balanceo de Líneas

El balanceo de líneas se determina mediante la siguiente ecuación para el número mínimo de estaciones necesarias:

$$N = (\sum Ti) / C$$

donde:

- **N** es el número mínimo de estaciones de trabajo.
- $\sum Ti$ es la suma de los tiempos de todas las tareas.
- **C** es el tiempo de ciclo. (Niebel & Freivalds, 2009).

La eficiencia de la línea se calcula con la ecuación:

$$E = (\sum Ti / (N \times C)) \times 100$$

donde:

- **E** es la eficiencia del balanceo.
- **N × C** representa el tiempo total disponible en la línea. (Niebel & Freivalds, 2009).

El porcentaje de ineficiencia se obtiene mediante:

$$I = 100 - E$$

Aplicaciones Prácticas

El balanceo de líneas se aplica en diversos sectores industriales como: Ensamblaje de automóviles, Producción de dispositivos electrónicos, Industria textil y Fabricación de alimentos.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Número de Estaciones

Se tienen las siguientes tareas y sus tiempos asociados en segundos:

Tarea	Tiempo (segundos)
A	30
B	20
C	25
D	35
E	40
F	30

Tabla 3.1. Tareas y sus tiempos asociados para un balanceo de línea.

Si el tiempo de ciclo es de 50 segundos, calcular el número mínimo de estaciones de trabajo.

Solución:

$$N = (30 + 20 + 25 + 35 + 40 + 30) / 50$$

$$N = 180 / 50 = 3.6 \rightarrow \text{Se requieren al menos 4 estaciones.}$$

Ejemplo 2: Cálculo de la Eficiencia de la Línea

Si se asignan 4 estaciones de trabajo y el tiempo de ciclo es de 50 segundos, calcular la eficiencia.

$$E = (180 / (4 \times 50)) \times 100 \rightarrow E = (180 / 200) \times 100 = 90\%$$

El porcentaje de ineficiencia es:

$$I = 100 - 90 = 10\%$$

3.2. Descripción y aplicación de métodos para el balanceo de líneas de producción: peso posicional, Kildbrige & Wester y de acuerdo a un volumen de producción.

Descripción y Aplicación del Método de Peso Posicional para el Balanceo de Líneas de Producción

Introducción

El método de peso posicional (Ranked Positional Weight, RPW) es una técnica utilizada en el balanceo de líneas de producción para distribuir equitativamente la carga de trabajo entre estaciones, minimizando tiempos muertos y maximizando la eficiencia. Este método se basa en la asignación de tareas en función del peso acumulado de sus sucesores, asegurando una distribución óptima del trabajo. (Niegel & Freivalds, 2009).

El método de peso posicional es una herramienta eficiente para el balanceo de líneas de producción, permitiendo minimizar tiempos muertos y optimizar la distribución de tareas en estaciones de trabajo.

Conceptos Básicos

- Balanceo de líneas de producción: Distribución equitativa de las tareas en una línea de ensamblaje para minimizar tiempos ociosos y mejorar la eficiencia.
- Tiempo de ciclo (C): Tiempo máximo disponible en cada estación de trabajo para completar las tareas asignadas sin afectar el flujo de producción.
- Peso posicional (WP): Suma de los tiempos de una tarea y sus sucesores, lo que determina su prioridad de asignación.

- Número de estaciones de trabajo (N): Mínimo de estaciones requeridas para cumplir con el tiempo de ciclo.
- Eficiencia del balanceo (E): Medida del aprovechamiento de los recursos en la línea de producción. (Meyers & Stewart, 2002).

Método de Peso Posicional (RPW)

El método RPW sigue estos pasos:

1. Construcción del diagrama de precedencia: Representar la secuencia de las tareas con sus restricciones.
2. Cálculo del peso posicional: Para cada tarea, sumar su tiempo más el tiempo de todas las tareas que la suceden.
3. Ordenamiento de tareas: Disponer las tareas en orden decreciente de peso posicional.
4. Asignación de tareas a estaciones: Asignar tareas respetando el tiempo de ciclo y el orden de precedencia.
5. Cálculo de eficiencia y balanceo de la línea.

El balanceo óptimo de una línea de producción se determina mediante la ecuación:

$$N = (\sum Ti) / C$$

donde:

- **N** es el número mínimo de estaciones.
- $\sum Ti$ es la suma de los tiempos de todas las tareas.
- **C** es el tiempo de ciclo.

La eficiencia del balanceo se calcula como:

$$E = (\sum Ti / (N \times C)) \times 100$$

y la ineficiencia como:

$$I = 100 - E$$

Aplicaciones Prácticas

El método RPW es utilizado en múltiples sectores industriales, como: Industria automotriz: Ensamblaje de componentes; Industria electrónica: Montaje de dispositivos y en la Industria manufacturera: Producción de bienes de consumo.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Aplicación del Método de Peso Posicional

Dado el siguiente conjunto de tareas y sus tiempos en segundos:

Cálculo del Peso Posicional (WP)

Tarea	Tiempo (s)	Sucesores
A	25	B, C
B	30	D
C	20	D, E
D	35	F
E	40	F
F	30	-

Tabla 3.2. Secuencia de 6 Tareas, tiempos y sucesores.

Tarea	Tiempo (s)	WP (Peso Posicional)
A	25	180
B	30	155
C	20	125
D	35	90
E	40	70
F	30	30

Tabla 3.3. Ejemplo de Cálculo del RPW.

Ordenamiento de tareas según RPW: A, B, C, D, E, F.

Asignación de tareas a estaciones (C = 50s):

Estación	Tareas Asignadas	Tiempo Total (s)
1	A, C	45
2	B	30
3	D	35
4	E, F	70

Tabla 3.4. Asignación de tareas a estaciones.

Cálculo de eficiencia:

$$E = (\sum T_i / (N \times C)) \times 100 \rightarrow E = (180 / (4 \times 50)) \times 100 = 90\%$$

Cálculo de ineficiencia:

$$I = 100 - 90 = 10\%$$

Ejercicio 1: Cálculo del Balanceo con RPW

Dado el siguiente conjunto de tareas y tiempos:

Cálculo del Peso Posicional (WP)

Tarea	Tiempo (s)	Sucesores
A	30	B
B	20	C, D
C	25	E
D	35	E
E	40	-

Tabla 3.5. Secuencia de 5 Tareas, tiempos y sucesores.

Tarea	Tiempo (s)	WP (Peso Posicional)
A	30	180
B	20	120
C	25	100
D	35	75
E	40	40

Tabla 3.6. Ejercicio de Cálculo del RPW.

Ordenamiento de tareas según RPW: A, B, C, D, E.

Asignación de tareas a estaciones (C = 50s):

Estación	Tareas Asignadas	Tiempo Total (s)
1	A, B	50
2	C	25
3	D	35
4	E	40

Tabla 3.7. Asignación de 5 tareas a estaciones.

Calcular el número de estaciones con un tiempo de ciclo de 50s y la eficiencia.

$$E = (\sum T_i / (N \times C)) \times 100 \rightarrow E = (180 / (4 \times 50)) \times 100 = 90\%$$

Descripción y Aplicación del Método de Kildbrige & Wester para el Balanceo de Líneas de Producción

El **método de Kildbrige & Wester** es una técnica de balanceo de líneas de producción que organiza las tareas en grupos de acuerdo con sus relaciones de precedencia, facilitando la asignación a estaciones de trabajo. Su enfoque visual simplifica el proceso de balanceo, permitiendo una mejor distribución de la carga de trabajo y mejorando la eficiencia del sistema productivo. (Boysen, Fliedner & Scholl, 2007).

El método de Kildbrige & Wester facilita el balanceo de líneas al agrupar tareas en niveles de precedencia, simplificando la asignación de actividades a estaciones de trabajo y optimizando la eficiencia del proceso productivo.

Conceptos Básicos

- Balanceo de líneas de producción: Distribución equitativa de las tareas en estaciones de trabajo para minimizar tiempos ociosos y mejorar la eficiencia.
- Tiempo de ciclo (C): Tiempo máximo disponible en cada estación de trabajo para completar las tareas asignadas sin afectar el flujo de producción.
- Diagrama de precedencia: Representación gráfica de la relación entre tareas y restricciones de orden de ejecución.
- Grupos de precedencia: Tareas que pueden asignarse en la misma estación debido a que no tienen dependencias entre sí.
- Eficiencia del balanceo (E): Medida del aprovechamiento de los recursos en la línea de producción.

Método de Kildbrige & Wester

El método de Kildbrige & Wester se basa en los siguientes pasos:

1. Construcción del diagrama de precedencia: Representar la secuencia de tareas y sus restricciones.
2. Identificación de los niveles de precedencia: Agrupar tareas que pueden ser ejecutadas simultáneamente.
3. Ordenar las tareas por nivel de precedencia: Disponerlas en una tabla para su asignación a estaciones de trabajo.
4. Asignación de tareas a estaciones: Distribuir las tareas en las estaciones respetando el tiempo de ciclo.
5. Evaluación de la eficiencia del balanceo. (Niebel & Freivalds, 2009).

El número mínimo de estaciones se calcula mediante la ecuación:

$$N = (\sum Ti) / C$$

donde:

- **N** es el número mínimo de estaciones.
- $\sum Ti$ es la suma de los tiempos de todas las tareas.
- **C** es el tiempo de ciclo. (Niebel & Freivalds, 2009).

La eficiencia del balanceo se obtiene mediante:

$$E = (\sum Ti / (N \times C)) \times 100$$

El porcentaje de ineficiencia se calcula como:

$$I = 100 - E$$

Aplicaciones Prácticas

El método de Kildbrige & Wester es utilizado en: Industria automotriz: ensamblaje de vehículos y componentes; en la Industria electrónica: producción de dispositivos electrónicos y también en manufactura general: Distribución eficiente de tareas en líneas de producción.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Aplicación del Método de Kildbrige & Wester

Dado el siguiente conjunto de tareas y sus tiempos en segundos:

área	Tiempo (s)	Sucesores
A	25	B, C
B	30	D
C	20	D, E
D	35	F
E	40	F
F	30	-

Tabla 3.8. conjunto de tareas para aplicar método de Kildbrige & Wester.

Identificación de niveles de precedencia

Nivel	Tareas
1	A
2	B, C
3	D, E
4	F

Tabla 3.9. Identificación de niveles usando método de Kildbrige & Wester.

Asignación de tareas a estaciones (C = 50s):

Estación	Tareas Asignadas	Tiempo Total (s)
1	A, C	45
2	B	30
3	D	35
4	E, F	70

Tabla 3.10. Asignación de tareas usando método de Kildbrige & Wester.

Cálculo de eficiencia: $E = (180 / (4 \times 50)) \times 100 \rightarrow E = (180 / 200) \times 100 = 90\%$

Cálculo de ineficiencia: $I = 100 - 90 = 10\%$

Descripción y Aplicación del Método de Balanceo de Líneas de Producción Basado en el Volumen de Producción

El balanceo de líneas de producción basado en el volumen de producción es un método que busca asignar tareas a estaciones de trabajo optimizando el flujo de producción, garantizando que la cantidad de productos fabricados cumpla con la demanda establecida. Este enfoque es clave en industrias con altos volúmenes de producción donde la eficiencia y la reducción de tiempos ociosos son primordiales. (Rekiek & Delchambre, 2006).

El método de balanceo de líneas basado en el volumen de producción permite establecer un flujo de trabajo eficiente, asegurando que la producción cumpla con la demanda establecida. Su correcta implementación ayuda a reducir costos y maximizar la productividad.

Conceptos Básicos

- Balanceo de líneas de producción: Distribución equitativa de las tareas en estaciones de trabajo para minimizar tiempos muertos y mejorar la eficiencia operativa.
- Volumen de producción: Cantidad de productos a fabricar en un período determinado.
- Tiempo de ciclo (C): Tiempo máximo permitido en cada estación para cumplir con la producción deseada.
- Número de estaciones de trabajo (N): Cantidad mínima de estaciones necesarias para cumplir con el tiempo de ciclo.
- Eficiencia del balanceo (E): Indicador del grado de optimización de la línea de producción. (Niebel & Freivalds, 2009).

Método de Balanceo de Líneas Basado en el Volumen de Producción

Para aplicar este método, se siguen los siguientes pasos:

1. Determinar la demanda de producción: Definir la cantidad de productos a fabricar en un período determinado.
2. Calcular el tiempo de ciclo requerido: Se obtiene dividiendo el tiempo disponible por la demanda de producción.
$$C = T / D$$

donde:

 - **C** es el tiempo de ciclo.
 - **T** es el tiempo disponible en un turno de trabajo.
 - **D** es la demanda de producción en ese turno.
3. Determinar el número mínimo de estaciones de trabajo: Se calcula utilizando la ecuación:
$$N = (\sum Ti) / C$$

donde:

 - **N** es el número mínimo de estaciones.
 - $\sum Ti$ es la suma de los tiempos de todas las tareas.
 - **C** es el tiempo de ciclo. (Niebel & Freivalds, 2009).
4. Asignar tareas a estaciones de trabajo: Distribuir equitativamente las tareas entre las estaciones de manera que ninguna exceda el tiempo de ciclo.
5. Calcular la eficiencia del balanceo: Se obtiene con la siguiente ecuación:
$$E = (\sum Ti / (N \times C)) \times 100$$
6. Evaluar y ajustar el balanceo: Si es necesario, redistribuir tareas para minimizar la ineficiencia.

Aplicaciones Prácticas

Este método se aplica en industrias como: Automotriz: Fabricación de vehículos en líneas de ensamblaje; Electrónica: Producción de circuitos y dispositivos electrónicos y Manufactura general: Producción en serie de bienes de consumo.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Tiempo de Ciclo y Número de Estaciones

Una fábrica debe producir 500 unidades en un turno de 8 horas (28,800 segundos). El tiempo total de las tareas es de 12,000 segundos. Calcular el tiempo de ciclo y el número mínimo de estaciones.

Solución:

1. Cálculo del tiempo de ciclo:
$$C = T / D = 28,800 / 500 = 57.6 \text{ s/unidad}$$
2. Número mínimo de estaciones:
$$N = (12,000) / (57.6) = 208.3 \approx 209 \text{ estaciones}$$

Ejemplo 2: Cálculo de la Eficiencia del Balanceo

Si el número real de estaciones implementadas es 220 y el tiempo de ciclo es 57.6 segundos, calcular la eficiencia.

Solución:

$$E = (12,000 / (220 \times 57.6)) \times 100 \rightarrow E = (12,000 / 12,672) \times 100 = 94.7\%$$

El balanceo de la línea es eficiente en un 94.7%.

Ejercicio 1: Cálculo del Balanceo con Volumen de Producción

Dado un volumen de producción de 600 unidades en un turno de 7 horas (25,200 segundos) y un tiempo total de tareas de 15,000 segundos, calcular:

1. El tiempo de ciclo.
2. El número mínimo de estaciones.
3. La eficiencia del balanceo si se asignan 250 estaciones.

3.3. Balanceo de líneas de ensamble para la producción simultanea de más de un modelo.

El balanceo de líneas de ensamble para la producción simultánea de más de un modelo, también conocido como balanceo de líneas de ensamblaje mixtas o híbridas, es una estrategia de producción que permite fabricar múltiples productos en la misma línea sin interrumpir el flujo de trabajo. Esta metodología es clave en industrias como la automotriz, electrónica y de bienes de consumo, donde se requieren altos niveles de personalización sin sacrificar la eficiencia. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- Línea de ensamble mixta: Sistema de producción donde diferentes modelos de productos son ensamblados en la misma línea.
- Tiempo de ciclo (C): Tiempo máximo permitido en cada estación de trabajo para completar las tareas asignadas.
- Número de estaciones de trabajo (N): Cantidad mínima de estaciones necesarias para cumplir con la demanda.
- Secuencia de producción: Orden en el que los modelos de producto se introducen en la línea.
- Eficiencia del balanceo (E): Medida del aprovechamiento de los recursos de la línea de producción.
- Diferencias en los tiempos de ensamble: Variaciones en los tiempos de tareas debido a la coexistencia de múltiples modelos en la misma línea.

Método de Balanceo de Líneas para Producción Mixta

El proceso de balanceo de líneas para la producción simultánea de más de un modelo sigue los siguientes pasos:

1. Identificación de tareas comunes y específicas por modelo.
2. Construcción del diagrama de precedencia para cada modelo.
3. Cálculo del tiempo de ciclo global:
 $C = T / D$
 - **C** es el tiempo de ciclo.
 - **T** es el tiempo disponible en un turno de trabajo.
 - **D** es la demanda total de todos los modelos en el turno. (Niebel & Freivalds, 2009).
4. Determinación del número de estaciones de trabajo:
 $N = (\sum Ti) / C$
 - **N** es el número mínimo de estaciones.
 - $\sum Ti$ es la suma de los tiempos de todas las tareas.
 - **C** es el tiempo de ciclo. (Niebel & Freivalds, 2009).
5. Asignación de tareas a estaciones de trabajo considerando las diferencias entre modelos.
6. Optimización del balanceo mediante heurísticas como Ranked Positional Weight (RPW) o algoritmos genéticos.
7. Evaluación de la eficiencia del balanceo:
 $E = (\sum Ti / (N \times C)) \times 100$

Aplicaciones Prácticas

El balanceo de líneas de ensamblaje mixtas se aplica en diversas industrias, tales como:

- Automotriz: Producción de diferentes modelos de vehículos en la misma línea.
- Electrónica: Ensamblaje de dispositivos con variaciones en especificaciones.
- Bienes de consumo: Producción de electrodomésticos con diferentes configuraciones.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Número de Estaciones en una Línea Mixta

Una fábrica ensambla dos modelos de producto (A y B) en la misma línea de producción. Los tiempos de ensamble son:

Tarea	Modelo A (s)	Modelo B (s)	Promedio (s)
T1	30	35	32.5
T2	25	20	22.5
T3	40	45	42.5
T4	35	30	32.5
T5	50	55	52.5

Tabla 3.11. tiempos de ensamble de una línea mixta.

Si el tiempo de ciclo es de 60 segundos, calcular el número de estaciones.

Solución:

1. Suma de los tiempos promedios:

$$\sum T_i = 32.5 + 22.5 + 42.5 + 32.5 + 52.5 = 182.5 \text{ s}$$

2. Cálculo del número de estaciones:

$$N = 182.5 / 60 = 3.04 \rightarrow 4 \text{ estaciones}$$

Ejemplo 2: Cálculo de la Eficiencia del Balanceo

Si se implementan 4 estaciones y el tiempo de ciclo es 60 segundos, calcular la eficiencia.

Solución:

$$E = (182.5 / (4 \times 60)) \times 100$$

$$E = (182.5 / 240) \times 100 = 76.04\%$$

El balanceo de la línea tiene una eficiencia del 76.04%.

Ejercicio 1: Cálculo del Balanceo con Producción Mixta

Dado un volumen de producción de 300 unidades del modelo A y 200 del modelo B en un turno de 8 horas (28,800 segundos), con un tiempo total de tareas de 15,000 segundos, calcular:

1. El tiempo de ciclo.
2. El número mínimo de estaciones.
3. La eficiencia del balanceo si se asignan 6 estaciones.

Conclusiones sobre el Balanceo de Líneas de Producción y su Impacto en la Economía de un País

El balanceo de líneas de producción es un aspecto fundamental en la optimización de procesos industriales y su correcta aplicación tiene implicaciones significativas en la productividad, competitividad y desarrollo económico de un país. Su impacto se extiende más allá del entorno industrial, influyendo en sectores como el comercio, el empleo y la estabilidad macroeconómica.

Impacto en la Productividad Industrial

El balanceo de líneas mejora la eficiencia operativa, permitiendo a las empresas maximizar el uso de sus recursos y minimizar desperdicios. Cuando una línea de producción está bien balanceada:

- Se reducen los tiempos improductivos, aumentando la capacidad de producción.
- Se optimiza el flujo de trabajo, eliminando cuellos de botella y tiempos de espera innecesarios.
- Se reduce el costo unitario de producción, lo que permite a las empresas ofrecer precios más competitivos.

A nivel macroeconómico, una mayor productividad industrial contribuye al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), ya que la manufactura es un sector clave en la generación de riqueza y valor agregado.

Generación de Empleo y Mejora de Condiciones Laborales

El balanceo de líneas no solo incrementa la eficiencia, sino que también impacta directamente en el mercado laboral. Un sistema bien balanceado permite:

- Mayor estabilidad laboral, ya que las empresas pueden mantener niveles constantes de producción y empleo.
- Mejora en las condiciones de trabajo, al evitar sobrecarga en ciertas estaciones y reducir el estrés laboral.
- Incremento en la capacitación de la fuerza laboral, fomentando la especialización y el desarrollo profesional.

Cuando un país implementa estrategias de balanceo de líneas de producción en sus industrias, mejora la calidad del empleo y reduce el desempleo estructural.

Reducción de Costos y Competitividad en el Mercado Global

Las empresas que logran un balanceo eficiente pueden reducir costos en:

- Materias primas y desperdicios al minimizar productos defectuosos.
- Consumo de energía, al operar de manera más eficiente.
- Mano de obra y tiempos de operación, al asignar tareas de manera óptima.

Estos factores se traducen en precios más competitivos, lo que permite a las empresas ingresar y consolidarse en mercados internacionales, impulsando la exportación de productos manufacturados y fortaleciendo la balanza comercial del país.

Impacto en la Innovación y Tecnología

El balanceo de líneas impulsa la adopción de nuevas tecnologías y automatización, lo que permite:

- Integrar sistemas de manufactura inteligente (Industria 4.0) para mejorar la eficiencia.
- Reducir costos de producción a largo plazo, optimizando los procesos mediante el uso de software avanzado y robótica.
- Fomentar la investigación y desarrollo de nuevos métodos de producción.

Los países que invierten en el balanceo de líneas con tecnología avanzada se vuelven más competitivos, atrayendo inversión extranjera y fortaleciendo su economía.

Sostenibilidad y Reducción del Impacto Ambiental

Un balanceo de líneas eficiente también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad, ya que:

- Reduce el desperdicio de materiales y recursos.
- Disminuye las emisiones de carbono al operar de manera más eficiente.
- Optimiza el uso de la energía, reduciendo costos operativos y el impacto ambiental.

Este enfoque ayuda a las empresas a cumplir con regulaciones ambientales y atraer consumidores conscientes del medio ambiente.

El balanceo de líneas de producción es una estrategia clave para mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad de un país. Su correcta implementación no solo beneficia a las empresas, sino que tiene un impacto positivo en la economía nacional al generar empleo, reducir costos, fomentar la innovación y fortalecer las exportaciones.

Los países que priorizan la optimización de procesos industriales pueden consolidarse como potencias manufactureras, garantizando su desarrollo económico y su liderazgo en el comercio global.

3.4. Uso de Software estadístico Minitab 19 para el balanceo de líneas.

Balanceo de Línea de Producción			
Tarea	Tiempo (s)	Predecesores	Estación de Trabajo
A	12	-	1
B	18	A	1
C	10	A	1
D	15	B	2
E	20	B	2
F	22	C	3
G	17	D	3
H	25	E	4
I	19	F	5
J	14	G	5

Tabla 3.12. Balanceo de línea de producción.

Procedimiento en Minitab 19

Importar los datos a Minitab

1. Abre Minitab 19.
2. Ve a Archivo > Nuevo Proyecto y captura tabla 3.12.
3. Asegúrate de que los datos aparecen correctamente en la hoja de trabajo.

Análisis de Balanceo de Línea

Cálculo de Estadísticas

1. Ve a Estadísticas > Estadísticas Básicas > Mostrar Estadísticos Descriptivos.
2. Selecciona la columna Tiempo (s).
3. Marca las opciones Media, Mediana, Desviación estándar y Suma.
4. Esto te dará el tiempo total de producción y la variabilidad entre tareas.

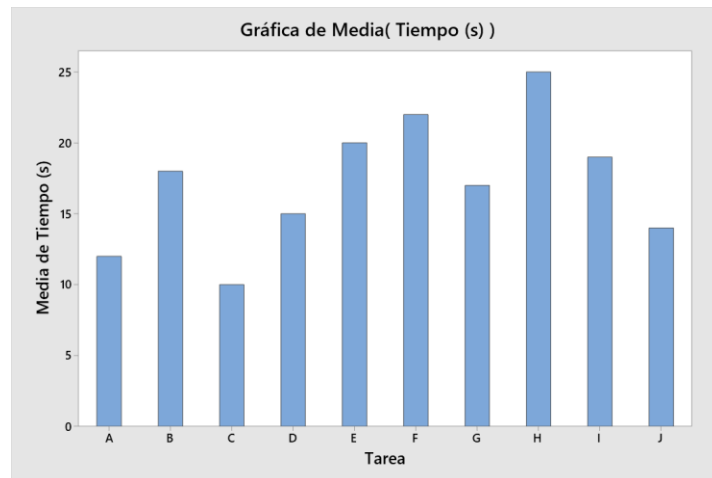
Resultados de Mostrar Estadísticos Descriptivos: segundos

Estadísticas						
Variable	N	N*	Media	Desv.Est.	Suma	Mediana
Tiempo (s)	10	0	17.20	4.59	172.00	17.50

Generar Gráficos en Minitab 19

Gráfica de Barras de Distribución de Tiempos

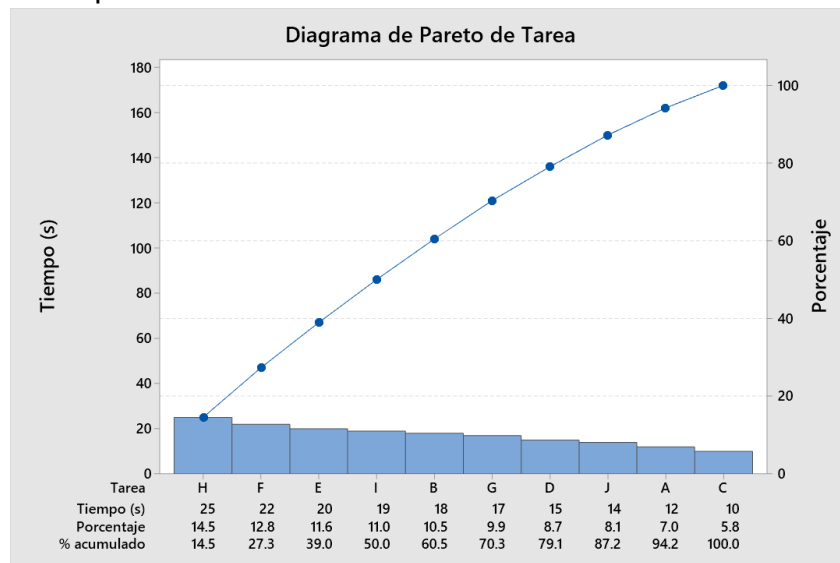
1. Ve a **Gráficos > Gráfica de barras > Categórica con resumen de valores.**
2. Selecciona **Tarea** como variable categórica y **Tiempo (s)** como la variables de gráficas y Función Mediana.
3. Esto mostrará la **distribución del tiempo por tarea.**



Grafica 3.1. De tipo barras para variable tiempo en segundos usando Minitab.

Gráfico de Pareto

1. Ve a **Estadísticas > Herramientas de calidad > Diagrama de Pareto**
2. Selecciona **Tiempo (s)** como la variable de medición, en la casilla Frecuencias en:
3. Selecciona **Tarea** como la variable de categórica, en la casilla defectos o datos de atributos en:
4. Esto ayudará a visualizar qué tareas **consumen con más tiempo** y podrían necesitar optimización.



Grafica 3.2. Diagrama de Pareto para identificar cuello de botella usando Minitab.

Minitab te permitirá identificar cuellos de botella y optimizar el balanceo de línea y el análisis de Pareto ayudará a priorizar mejoras en procesos ineficientes; de esta manera puedes comparar la eficiencia de diferentes estaciones de trabajo.

Tema 4. Datos Estándar y Propósito de los estándares de tiempos.

Introducción

Los datos estándar y los estándares de tiempos son herramientas fundamentales en la ingeniería industrial y la gestión de operaciones. Su propósito es establecer tiempos de referencia para la ejecución de tareas repetitivas en los procesos productivos, lo que permite mejorar la eficiencia, reducir costos y optimizar la asignación de recursos. Estos estándares son esenciales para la planificación de la producción, la estimación de costos y la mejora de la productividad en cualquier industria. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- **Datos estándar:** Valores de tiempo previamente determinados para una tarea específica basada en estudios de trabajo, permitiendo su uso en múltiples procesos sin necesidad de medición directa.
- **Estándares de tiempos:** Valores de referencia que indican el tiempo necesario para completar una tarea bajo condiciones normales de trabajo.
- **Tiempos predeterminados:** Métodos que establecen tiempos estándar con base en movimientos elementales, como el MTM (Methods-Time Measurement) y el MOST (Maynard Operation Sequence Technique).
- **Tiempos normales:** Tiempo promedio requerido para realizar una tarea sin interrupciones ni fatiga.
- **Tiempos estándar:** Tiempo normal ajustado por factores como holguras y variabilidad del trabajo.

Propósito de los Estándares de Tiempos

Los estándares de tiempos cumplen diversos propósitos en la gestión de la producción y la eficiencia operativa:

1. Optimización de la productividad: Facilitan la identificación de mejoras en los procesos productivos.
2. Reducción de costos: Permiten determinar costos de mano de obra y materiales de manera precisa.
3. Planificación y control de la producción: Ayudan a programar tareas y establecer fechas de entrega realistas.
4. Determinación de incentivos salariales: Se utilizan para establecer sistemas de pago basados en rendimiento.

5. Comparación de métodos de trabajo: Facilitan la evaluación de diferentes enfoques para seleccionar el más eficiente.
6. Establecimiento de capacidades productivas: Permiten calcular la capacidad de producción de una planta o línea de ensamble.

Cálculo de los Estándares de Tiempos

El tiempo estándar se obtiene a partir del tiempo normal y un factor de holgura que compensa la fatiga y otras interrupciones inevitables.

La ecuación general para calcular el tiempo estándar es:

$$\mathbf{TE = TN \times H}$$

Donde:

- **TE** = Tiempo estándar
- **TN** = Tiempo normal
- **H** = Factor de holgura expresado en decimal

Para calcular el tiempo normal, se usa la ecuación:

$$\mathbf{TN = TP \times R}$$

Donde:

- **TN** = Tiempo normal
- **TP** = Tiempo promedio observado
- **R** = Factor de ritmo, basado en la evaluación de la velocidad del operario

5. Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempos se aplican en múltiples áreas, como:

- Industria manufacturera: Para establecer tiempos de ciclo en líneas de producción.
- Logística: Para optimizar tiempos de carga y descarga de productos.
- Servicios: En call centers y atención al cliente para mejorar la eficiencia en la gestión de tiempos de respuesta.
- Construcción: Para programar actividades en proyectos de edificación y obras civiles.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Tiempo Normal y Estándar

Un operario realiza una tarea en **10 observaciones** con los siguientes tiempos en segundos:

Observación	Tiempo (s)
1	52
2	50
3	48
4	54
5	49
6	51
7	53
8	50
9	52
10	51

Tabla 4.1. Datos de 10 observaciones de una actividad.

Se calcula el tiempo promedio observado (TP): 51 segundos

Si el operario trabaja al 95% de su ritmo estándar, el tiempo normal (TN) es: $51 \times 1.05 = 53.55$ segundos

Si el factor de holgura es del 10%, el tiempo estándar (TE) es: $53.55 \times 1.10 = 58.905$ segundos

Ejemplo 2: Determinación del Número de Operarios Necesarios

Una empresa debe fabricar 500 piezas por día y cada operario trabaja 8 horas diarias. Si el tiempo estándar por pieza es de 2 minutos, calcular cuántos operarios se necesitan.

Solución:

1. Cálculo del tiempo total requerido: $500 \times 2 = 1000$ minutos
2. Cálculo del tiempo disponible por operario: $8\text{hrs} \times 60\text{ min} = 480$ minutos / 2 minutos por pieza = 240 piezas por operario
3. Número de operarios necesarios: $500\text{ piezas} / 240\text{ piezas por operario} = 2.08$ operarios

Se requieren 3 operarios para cumplir con la producción diaria.

El uso de datos estándar y estándares de tiempos es fundamental para la mejora continua en la producción. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Optimización de la producción: Permite mejorar la eficiencia de los procesos industriales mediante la estandarización del tiempo de ejecución de tareas.
2. Reducción de costos: Minimiza tiempos improductivos y reduce desperdicios en materiales y mano de obra.
3. Planificación y control: Facilita la programación de producción, establecimiento de turnos de trabajo y cumplimiento de tiempos de entrega.
4. Competitividad empresarial: Las empresas que implementan estándares de tiempo pueden mejorar su posición en el mercado al ofrecer productos y servicios de manera más eficiente.
5. Toma de decisiones basada en datos: Proporciona información precisa para mejorar la productividad y establecer estrategias de optimización.

4.1. Datos Estándar.

Los datos estándar son valores de tiempo predeterminados que se utilizan en la planificación y optimización de los procesos productivos. Estos datos son esenciales en la ingeniería industrial, ya que permiten establecer tiempos de referencia sin la necesidad de realizar estudios de tiempo específicos para cada tarea. Su implementación mejora la eficiencia operativa, la estandarización del trabajo y la reducción de costos. (McCormick, 2000).

Conceptos Básicos

- Datos estándar: Valores de tiempo establecidos con base en estudios previos, que se utilizan para tareas repetitivas sin la necesidad de medir cada operación individualmente.
- Tiempos predeterminados: Métodos basados en movimientos elementales que permiten calcular los tiempos estándar sin observación directa.
- Estandarización de procesos: Aplicación de tiempos estándar en la producción para mejorar la planificación y control del trabajo.
- Optimización del trabajo: Reducción de tiempos improductivos mediante la implementación de estándares de tiempo previamente definidos.

Aplicaciones de los Datos Estándar

Los datos estándar se utilizan en diversas áreas industriales y de servicios para:

1. Planificación y control de la producción: Permiten calcular tiempos de fabricación y programar recursos eficientemente.
2. Estimación de costos: Facilitan el cálculo del costo de mano de obra y materiales.
3. Balanceo de líneas de producción: Distribuyen equitativamente las tareas en estaciones de trabajo.
4. Determinación de incentivos salariales: Se emplean para establecer sistemas de pago por desempeño.
5. Análisis de métodos de trabajo: Comparan diferentes enfoques para seleccionar el más eficiente.

4.1.1. Aplicación de los datos estándar en operaciones de maquinado.

Los datos estándar en operaciones de maquinado son tiempos previamente establecidos para diversas operaciones realizadas en máquinas herramientas. Su aplicación permite optimizar la planificación de producción, calcular costos de manufactura y mejorar la eficiencia operativa. Los tiempos estándar en maquinado se determinan con base en estudios de tiempos, datos históricos y sistemas de tiempos predeterminados. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- Datos estándar: Valores de tiempo predefinidos utilizados para medir y optimizar procesos de maquinado.
- Tiempo de maquinado: Tiempo requerido para completar una operación en una máquina herramienta.
- Velocidad de corte (V_c): Rapidez con la que el material es removido por la herramienta de corte.
- Avance (f): Distancia que avanza la herramienta por revolución.
- Profundidad de corte (d): Espesor de material removido en cada pasada de la herramienta.

Aplicación de los Datos Estándar en Maquinado

Los datos estándar permiten:

1. Determinar tiempos de ciclo para procesos de torneado, fresado y taladrado.
2. Calcular costos de producción basados en tiempos y consumo de herramientas.
3. Optimizar el balanceo de líneas de producción en la industria metalmecánica.
4. Reducir variabilidad en la manufactura, asegurando precisión en la planeación.

Cálculo del Tiempo de Maquinado

El tiempo de maquinado (T_m) en operaciones de torneado se obtiene con la

ecuación: $T_m = \frac{L}{fN}$

Donde:

- **T_m** = Tiempo de maquinado (min)
- **L** = Longitud de corte (mm)
- **f** = Avance por revolución (mm/rev)
- **N** = Velocidad de rotación (rpm)

Para fresado, el tiempo de maquinado se calcula con: $T_m = \frac{L}{f_r}$

Donde:

- T_m = Tiempo de maquinado (min)
- L = Longitud de corte (mm)
- f_r = Avance de la fresa (mm/min)

El avance de la fresa f_r se determina mediante: $f_r = (f_z)(Z)(N)$

Donde:

- f_z = Avance por diente (mm/diente)
- Z = Número de dientes de la fresa
- N = Velocidad de rotación (rpm) (Niebel & Freivalds, 2009).

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Tiempo de Maquinado en Torneado

Un eje de acero debe ser torneado en una longitud de 150 mm, con un avance de 0.3 mm/rev y una velocidad de rotación de 800 rpm. Calcular el tiempo de maquinado.

Solución:

$$T_m = \frac{L}{fN} \rightarrow T_m = \frac{150\text{mm}}{(0.3\text{mm/rev})(800\text{rpm})} \rightarrow T_m = \frac{150}{240} \rightarrow T_m = 0.625 \text{ min}$$

El tiempo de maquinado es 0.625 minutos.

Ejemplo 2: Cálculo del Tiempo de Maquinado en Fresado

Se requiere fresar una pieza de 200 mm de longitud, utilizando una fresa con 4 dientes, un avance de 0.1 mm/diente y una velocidad de 1000 rpm.

Solución:

- $f_z = 0.1$ mm/diente (Avance por diente)
- $Z = 4$ dientes (Número de dientes de la fresa)
- $N = 1000$ rpm (Velocidad de rotación)

Cálculo del avance de la fresa (f_r)

$$f_r = (f_z)(Z)(N) \rightarrow f_r = 0.1 \times 4 \times 1000$$

Cálculo del tiempo de maquinado (T_m)

$$T_m = \frac{200}{400} \rightarrow T_m = 0.5 \text{ min}$$

El tiempo de maquinado es 0.5 minutos.

Ejercicio 1: Cálculo del Tiempo de Taladrado

Un agujero de 50 mm debe perforarse en una pieza de aluminio con un avance de 0.2 mm/rev y una velocidad de 600 rpm. Calcular el tiempo de maquinado.

Donde:

- $L = 50$ mm (Profundidad del agujero)
- $f = 0.2$ mm/rev (Avance por revolución)
- $N = 600$ rpm (Velocidad de rotación)

$$T_m = \frac{L}{fN} \rightarrow T_m = \frac{50}{(0.2)(600)} \rightarrow T_m = 0.417 \text{ minutos}$$

Conclusiones

El uso de datos estándar en operaciones de maquinado permite mejorar la productividad y reducir costos al establecer tiempos precisos para cada operación. Las principales conclusiones incluyen:

1. Estandarización de Procesos: Permite un control preciso del tiempo de maquinado y reduce variabilidad en la producción.
2. Optimización de Costos: Reduce desperdicios y mejora la eficiencia del uso de herramientas y materiales.
3. Mejora en la Planificación de Producción: Facilita la programación de órdenes de trabajo y el balanceo de líneas de manufactura.
4. Mayor Competitividad: Empresas con tiempos estándar bien definidos pueden mejorar la entrega de productos y minimizar costos.

4.1.2. Base para equilibrar la fuerza laborar con el trabajo disponible.

El equilibrio entre la fuerza laboral y el trabajo disponible es un factor clave en la gestión de operaciones y la eficiencia organizacional. Un desequilibrio entre la oferta de trabajo y la cantidad de empleados puede generar costos innecesarios, baja productividad y desgaste laboral. Para lograr un balance adecuado, se deben considerar métodos de asignación óptima de recursos, tiempos estándar y planificación estratégica de la carga de trabajo. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- **Fuerza laboral:** Número de trabajadores disponibles en una organización o línea de producción.
- **Carga de trabajo:** Cantidad de tareas o producción que debe completarse en un período determinado.
- **Tiempo estándar:** Tiempo promedio requerido para completar una tarea bajo condiciones normales de operación.
- **Productividad:** Relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados.
- **Eficiencia laboral:** Uso óptimo de la mano de obra para maximizar la producción sin generar tiempos improductivos.

Métodos para Equilibrar la Fuerza Laboral con el Trabajo Disponible

Para lograr un balance adecuado entre la fuerza laboral y la carga de trabajo, se pueden emplear diversos enfoques:

1. **Análisis de Tiempos y Movimientos:** Permite calcular tiempos estándar y eliminar tareas innecesarias.
2. **Muestreo del Trabajo:** Técnica estadística que permite medir el uso del tiempo por parte de los trabajadores.
3. **Cálculo del Número Óptimo de Trabajadores:** Se basa en la demanda de producción y el tiempo estándar de cada tarea.
4. **Redistribución de Tareas:** Ajustar la carga de trabajo en función de la capacidad real de los empleados.
5. **Automatización y Tecnología:** Incorporar herramientas tecnológicas para mejorar la eficiencia.

Cálculo del Número de Trabajadores Necesarios

El número óptimo de trabajadores (**N**) se determina con la ecuación: $N = \frac{T_T}{T_D}$

Donde:

- **N** = Número de trabajadores necesarios
- **T_T** = Tiempo total requerido para completar la producción (min)
- **T_D** = Tiempo disponible por trabajador (min)

Si consideramos holguras para descansos y tiempos improductivos, la ecuación ajustada es: $N = \frac{T_T}{T_D (1-H)}$

Donde:

- **H** = Factor de holgura expresado en decimal

Aplicaciones Prácticas

El equilibrio entre la fuerza laboral y la carga de trabajo se aplica en:

- Industria manufacturera: Planificación del número de operarios por línea de producción.
- Centros de atención al cliente: Ajuste del número de agentes según la demanda de llamadas.
- Hospitales: Distribución de enfermeros en función del número de pacientes.
- Logística y distribución: Asignación de trabajadores para carga y descarga de mercancías.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Número de Trabajadores

Una fábrica debe ensamblar 800 unidades en 8 horas de trabajo. Cada unidad requiere 5 minutos de trabajo. Si cada operario dispone de 480 minutos por jornada, calcular cuántos trabajadores se necesitan.

Solución:

Paso 1: Cálculo del Tiempo Total Requerido

$T_T = \text{Número de unidades} \times \text{Tiempo por unidad} \rightarrow T_T = 800 \times 5 = 4000 \text{ min}$

Paso 2: Cálculo del Número de Trabajadores

$N = \frac{T_T}{T_D} \rightarrow N = \frac{4000}{480} \rightarrow 8.33$ Como el número de trabajadores debe ser un entero, se redondea hacia arriba: $N = 9$; Se necesitan 9 trabajadores para completar la producción en el tiempo establecido.

Ejemplo 2: Cálculo con Holgura

Si en el ejemplo anterior los trabajadores tienen un 10% de holgura, calcular el nuevo número de trabajadores requeridos.

Solución:

1. Cálculo del número de trabajadores ajustado:

Donde:

- $T_T = 4000$ min (Tiempo total requerido)
- $T_D = 480$ min/trabajador (Tiempo disponible por trabajador)
- $H = 0.10$ (10% de holgura)

$$N = \frac{T_T}{T_D (1-H)} \rightarrow N = \frac{4000}{480 (1-0.10)} \rightarrow N = \frac{4000}{432} \rightarrow N = 9.26$$

Redondeando hacia arriba, se necesitan 10 trabajadores. Al considerar la holgura, en lugar de 9.

Ejercicio 1: Planificación de Fuerza Laboral

Un centro de distribución debe procesar 600 paquetes por turno. Cada paquete requiere 3 minutos de procesamiento y cada trabajador tiene 450 minutos disponibles en su turno. Calcular el número óptimo de trabajadores sin considerar holguras.

Paso 1: Cálculo del Tiempo Total Requerido

$$T_T = \text{Numero de paquetes} \times \text{Tiempo por paquete} \rightarrow T_T = 600 \times 3 = 1800 \text{ min}$$

Paso 2: Cálculo del Número de Trabajadores

$$N = \frac{T_T}{T_D} \rightarrow N = \frac{1800}{450} \rightarrow 4 \text{ Como el número de trabajadores debe ser un entero,}$$

El equilibrio entre la fuerza laboral y la carga de trabajo es fundamental para mejorar la eficiencia y reducir costos operativos. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Optimización de Recursos Humanos: Permite asignar correctamente el número de trabajadores necesarios para cada tarea.
2. Reducción de Costos Laborales: Evita la contratación excesiva o insuficiente de personal.
3. Aumento de la Productividad: Permite maximizar la producción sin generar sobrecarga laboral.
4. Mejora en la Planificación Operativa: Facilita la gestión del tiempo y los turnos de trabajo.
5. Reducción del Desgaste Laboral: Distribuir equitativamente el trabajo ayuda a evitar la fatiga y mejorar el bienestar de los empleados.

4.2. Propósito de los estándares de tiempo.

Los estándares de tiempo son valores de referencia que establecen el tiempo requerido para completar una tarea bajo condiciones normales de trabajo. Su propósito es optimizar la productividad, mejorar la planificación de la producción y garantizar una asignación eficiente de los recursos en una empresa. Estos estándares se determinan a partir de métodos de medición del trabajo como estudios de tiempos, datos estándar y sistemas de tiempos predeterminados.

Conceptos Básicos

- Estándar de tiempo: Tiempo requerido para completar una tarea considerando factores de rendimiento y holguras.
- Tiempo normal (T_N): Tiempo promedio observado ajustado por el ritmo del trabajador.
- Tiempo estándar (T_E): Tiempo normal ajustado por factores de holgura que contemplan descansos e interrupciones inevitables.
- Productividad: Relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados.
- Eficiencia operativa: Optimización de tiempos y recursos en un proceso de producción. (Niebel & Freivalds, 2009).

Propósito de los Estándares de Tiempo

Los estándares de tiempo tienen múltiples propósitos dentro de la administración de la producción y la gestión de operaciones:

1. Optimización de la Producción: Permiten mejorar la eficiencia operativa y reducir tiempos improductivos.
2. Cálculo de Costos de Producción: Facilitan la estimación precisa del costo de mano de obra.
3. Planificación y Programación de la Producción: Ayudan a definir tiempos de entrega realistas y asignar recursos eficientemente.
4. Determinación de Incentivos Salariales: Se utilizan en sistemas de pago por desempeño.
5. Evaluación de Métodos de Trabajo: Permiten comparar diferentes enfoques y seleccionar el más eficiente.
6. Balanceo de Líneas de Producción: Contribuyen a distribuir equitativamente la carga de trabajo.

Cálculo del Estándar de Tiempo

El tiempo estándar se calcula a partir del tiempo normal y el factor de holgura utilizando la ecuación: $T_E = T_N \times (1 + H)$

Donde:

- T_E = Tiempo estándar (min)
- T_N = Tiempo normal (min)
- H = Factor de holgura (expresado en decimal)

Explicación:

- El tiempo normal (T_N) es el tiempo requerido para completar una tarea en condiciones ideales.
- El factor de holgura (H) se usa para compensar descansos, fatiga, retrasos, u otros tiempos improductivos.
- Multiplicar por $(1 + H)$ ajusta el tiempo normal para reflejar un estándar más realista.

El tiempo normal se obtiene mediante: $T_N = TP \times R$

Donde:

- TP = Tiempo promedio observado (min)
- R = Factor de ritmo (ajuste de desempeño del operario)
- $R > 1.0$ → Operario más rápido que el estándar
- $R < 1.0$ → Operario más lento que el estándar
- $R = 1.0$ → Operario con desempeño estándar

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo son aplicados en diversas áreas industriales y de servicios:

- Industria manufacturera: Para determinar tiempos de ensamble y fabricación.
- Logística: Para optimizar tiempos de carga y descarga.
- Servicios: En atención al cliente y call centers para medir tiempos de respuesta.
- Construcción: Para la planificación de actividades en proyectos de infraestructura.

4.2.1. Base para cotización de nuevos productos.

Los estándares de tiempo desempeñan un papel crucial en la cotización de nuevos productos, ya que permiten estimar con precisión los costos de producción, los tiempos de entrega y la asignación de recursos. Al establecer tiempos estándar, las empresas pueden determinar la viabilidad de un producto en términos de rentabilidad y competitividad en el mercado. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- Estándares de tiempo: Tiempos establecidos para completar una tarea bajo condiciones normales de operación.
- Costo de mano de obra: Costo asociado con el tiempo necesario para fabricar un producto.
- Costo total de producción: Suma del costo de materiales, mano de obra y costos indirectos de fabricación.
- Tiempo estándar (T_E): Tiempo requerido para completar una tarea, incluyendo factores de holgura.
- Tasa de producción: Cantidad de unidades que pueden producirse en un período determinado.

Importancia de los Estándares de Tiempo en la Cotización de Nuevos Productos

El uso de estándares de tiempo en la cotización de nuevos productos permite:

1. Precisión en la estimación de costos de mano de obra.
2. Optimización del tiempo de producción y entrega.
3. Determinación de la rentabilidad del producto.
4. Estandarización en la cotización de productos similares.
5. Facilitación de la negociación con clientes y proveedores.

Cálculo de Costos Basados en Estándares de Tiempo

El costo de producción unitario (C_U) basado en los estándares de tiempo se calcula con la ecuación: $C_U = \left(\frac{T_E}{60}(C_{MO})\right) + C_M + C_{IF}$

Donde:

- C_U = Costo unitario de producción.
- T_E = Tiempo estándar por unidad (min).
- C_{MO} = Costo de mano de obra por hora.
- C_M = Costo de materiales por unidad.
- C_{IF} = Costos indirectos de fabricación por unidad. (Niebel & Freivalds, 2009).

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo se aplican en:

- Industria manufacturera: Para estimar costos de ensamble y procesamiento de materiales.
- Industria automotriz: Para cotizar partes y componentes en la producción de vehículos.
- Industria electrónica: Para calcular el costo de fabricación de dispositivos y circuitos.
- Construcción: Para estimar el tiempo y costo de proyectos de infraestructura.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Costo Unitario de Producción

Una empresa necesita cotizar un nuevo producto que requiere 20 minutos de tiempo estándar por unidad. El costo de mano de obra es de \$15 por hora, los materiales cuestan \$5 por unidad y los costos indirectos son de \$3 por unidad. Calcular el costo unitario de producción.

Solución:

Cálculo del Costo Unitario de Producción

Paso 1: Cálculo del Costo de Mano de Obra

$$\text{Costo de Mano de Obra} = \left(\frac{T_E}{60} (C_{MO}) \right) = \left(\frac{20}{60} (15) \right) = 5$$

Paso 2: Cálculo del Costo Total de Producción

$$C_u = \text{Costo de Mano de Obra} + C_M + C_{IF} = 5 + 5 + 3 = 13$$

El costo unitario de producción es \$13 por unidad.

Ejemplo 2: Determinación del Precio de Venta

Si la empresa del ejemplo anterior desea obtener un margen de ganancia del 30%, calcular el precio de venta unitario.

Solución:

Utilizamos la ecuación: Precio de Venta = $C_U (1 + M)$

- $C_U=13$ (Costo unitario de producción)
- $M= 0.30$ (Margen de ganancia del 30%)

$$\text{Precio de Venta} = 13 (1 + 30) \rightarrow \text{Precio de Venta} = 13 (1.30) \rightarrow 16.90$$

El precio de venta unitario debe ser \$16.90 para garantizar un margen del 30%

Ejercicio 1: Cotización de un nuevo producto

Una empresa planea fabricar un componente que requiere 25 minutos de tiempo estándar por unidad. El costo de mano de obra es \$18 por hora, los materiales cuestan \$7 por unidad, y los costos indirectos son de \$4 por unidad. Calcular:

Paso 1: Cálculo del Costo Unitario de Producción

$$\text{Costo de Mano de Obra} = \left(\frac{T_E}{60}(C_{MO})\right) = \left(\frac{25}{60}(18)\right) = (0.4167 \times 18) = 7.5$$

$$C_U = \text{Costo de Mano de Obra} + C_M + C_{IF} = 7.5 + 7 + 4 = 18.5$$

Paso 2: Cálculo del Precio de Venta Unitario

$$\text{Precio de Venta} = C_U \times (1 + M) = 18.5 \times (1 + 0.25) = 18.5 \times 1.25 = 23.13$$

Costo unitario de producción: \$18.50 por unidad

Precio de venta unitario (con margen del 25%): \$23.13 por unidad

El uso de estándares de tiempo en la cotización de nuevos productos permite a las empresas establecer precios competitivos y garantizar rentabilidad. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Precisión en la planificación financiera: Ayuda a estimar costos de producción de manera exacta.
2. Optimización de precios de venta: Permite calcular precios que cubran costos y generen utilidades.
3. Reducción de riesgos financieros: Minimiza la incertidumbre en la estimación de costos.
4. Mejora en la competitividad del mercado: Facilita la toma de decisiones estratégicas en la fijación de precios.
5. Facilidad en la negociación con clientes y proveedores: Proporciona datos concretos para justificar precios y costos de producción.

4.2.2. Base para control presupuestal.

Los estándares de tiempo desempeñan un papel fundamental en el control presupuestal, ya que permiten estimar con precisión los costos de producción y prever los recursos necesarios para la ejecución de tareas dentro de una empresa. A través del establecimiento de tiempos estándar, las organizaciones pueden optimizar la asignación de presupuesto, controlar gastos y mejorar la rentabilidad. (Niebel & Freivalds, 2009).

Conceptos Básicos

- Estándares de tiempo: Tiempos predefinidos para la ejecución de actividades bajo condiciones normales de operación.
- Presupuesto de producción: Estimación de los costos requeridos para la manufactura de productos en un período determinado.
- Costo de mano de obra: Costo asociado con el tiempo necesario para completar una tarea.
- Costo unitario de producción: Suma del costo de materiales, mano de obra y costos indirectos.
- Eficiencia operativa: Optimización de los tiempos de trabajo y los recursos financieros de una empresa.

El uso de estándares de tiempo en el control presupuestal permite:

1. Determinar costos operativos con mayor precisión.
2. Establecer presupuestos ajustados a la realidad productiva.
3. Optimizar el uso de recursos financieros.
4. Reducir desviaciones presupuestarias.
5. Evaluar el desempeño financiero en términos de eficiencia productiva.

Cálculo del Presupuesto Basado en Estándares de Tiempo

El presupuesto total de producción basado en estándares de tiempo se calcula con la ecuación: $C_T = (T_E \times C_{MO}) + C_M + C_{IF}$

Donde:

- C_T = Costo total de producción.
- T_E = Tiempo estándar por unidad (min).
- C_{MO} = Costo de mano de obra por minuto.
- C_M = Costo de materiales por unidad.
- C_{IF} = Costos indirectos de fabricación por unidad.

El presupuesto total mensual considerando la cantidad de unidades producidas se obtiene con: $P_T = C_T \times Q$

Donde:

- P_T = Presupuesto total.
- C_T = Costo total de producción por unidad
- Q = Cantidad de unidades a producir.

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo se aplican en:

- Industria manufacturera: Para estimar costos de producción y reducir desperdicios.
- Sector automotriz: Para calcular presupuestos de ensamble de vehículos.
- Logística: Para la planificación de costos de transporte y distribución.
- Construcción: Para definir presupuestos de ejecución de proyectos. (Niebel & Freivalds, 2009).

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo del Presupuesto de Producción

Una empresa fabrica un producto con un tiempo estándar de 15 minutos por unidad. El costo de mano de obra es de \$20 por hora, los materiales cuestan \$8 por unidad y los costos indirectos son de \$5 por unidad. Calcular el presupuesto total para la producción de 1000 unidades.

Solución:

Paso 1: Cálculo del Costo de Mano de Obra por Unidad

Costo de Mano de Obra = $T_E \times C_{MO_min}$

$$C_{MO_min} = \left(\frac{C_{MO_hora}}{60} \right) = \left(\frac{20}{60} \right) = 0.3333 \text{ pesos/min}$$

Costo de Mano de Obra = $15 \times 0.3333 = 5$ pesos

Paso 2: Cálculo del Costo Total de Producción por Unidad

$C_T = \text{Costo de Mano de Obra} + C_M + C_{IF} = 5 + 8 + 5 = 18$ pesos /unidad

Paso 3: Cálculo del Presupuesto Total

$P_T = C_T \times Q = 18 \times 1000 = 18,000$ pesos

El presupuesto total para producir 1000 unidades es \$18,000.

Ejemplo 2: Cálculo del Presupuesto con Variaciones de Costos

Si en el ejemplo anterior el costo de mano de obra aumenta a \$22 por hora, calcular el nuevo presupuesto.

Solución:

Paso 1: Cálculo del Nuevo Costo de Mano de Obra por Unidad

$$\text{Nuevo Costo de Mano de Obra} = (T_E)(C_{MO_min})$$

$$C_{MO_min} = \left(\frac{C_{MO_hora}}{60} \right) = \left(\frac{22}{60} \right) = 0.3667 \text{ pesos/min}$$

$$\text{Nuevo Costo de Mano de Obra} = (T_E)(C_{MO_min}) = (15)(0.3667) = 5.5 \text{ pesos}$$

Paso 2: Nuevo Costo Total de Producción por Unidad

$$C_T = \text{Nuevo Costo de Mano de Obra} + C_M + C_{IF}$$

$$C_T = 5.5 + 8 + 5 = 18.5 \text{ pesos/unidad}$$

Paso 3: Nuevo Presupuesto Total

$$P_T = C_T + Q = 18.5 \times 1000 = 18500 \text{ pesos/unidad}$$

Con el aumento en los costos de mano de obra, el presupuesto total aumenta a \$18,500.

Ejercicio 1: Cálculo del Presupuesto para una Nueva Producción

Una empresa planea producir 800 unidades de un producto con un tiempo estándar de 10 minutos por unidad. El costo de mano de obra es \$18 por hora, los materiales cuestan \$6 por unidad, y los costos indirectos son de \$4 por unidad. Calcular:

Paso 1: Cálculo del Costo Total de Producción por Unidad

$$\text{Nuevo Costo de Mano de Obra} = (T_E)(C_{MO_min})$$

$$C_{MO_min} = \left(\frac{C_{MO_hora}}{60} \right) = \left(\frac{18}{60} \right) = 0.30 \text{ pesos/min}$$

$$\text{Costo de Mano de Obra} = (T_E)(C_{MO_min}) = (10)(0.30) = 3.0 \text{ pesos}$$

$$C_T = \text{Costo de Mano de Obra} + C_M + C_{IF} = 3.0 + 6 + 4 = 13.0 \text{ pesos/unidad}$$

Paso 2: Cálculo del Presupuesto Total

$$P_T = (C_T)(Q) = \left(13.0 \frac{\text{pesos}}{\text{unidad}} \right) (800 \text{ unidades}) = 10,400 \text{ pesos}$$

Costo total de producción por unidad: \$13.00 por unidad

Presupuesto total para la producción de 800 unidades: \$10,400

Conclusión

El uso de estándares de tiempo en el control presupuestal es fundamental para garantizar una gestión eficiente de los recursos financieros. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Precisión en la planificación financiera: Permite calcular costos de producción con exactitud.
2. Optimización de recursos: Facilita la distribución eficiente del presupuesto.
3. Reducción de desperdicios: Minimiza costos innecesarios en materiales y mano de obra.
4. Mejor toma de decisiones: Proporciona datos confiables para establecer estrategias financieras.
5. Competitividad empresarial: Empresas con presupuestos bien definidos pueden ofrecer precios más competitivos y mejorar su rentabilidad.

4.2.3. Base para primas de supervisión.

Los estándares de tiempo juegan un papel clave en la determinación de primas de supervisión, ya que permiten medir el desempeño de los trabajadores y supervisores en relación con los tiempos establecidos para la ejecución de tareas. Al utilizar tiempos estándar, las empresas pueden definir bonos e incentivos salariales basados en la eficiencia y productividad de los equipos de trabajo.

Conceptos Básicos

- **Estándares de tiempo:** Tiempos predefinidos que establecen cuánto debe tardar un operario en completar una tarea.
- **Prima de supervisión:** Incentivo otorgado a los supervisores con base en la productividad de sus equipos.
- **Eficiencia laboral:** Relación entre el tiempo real de ejecución y el tiempo estándar establecido.
- **Productividad:** Cantidad de trabajo realizado en un período de tiempo determinado.
- **Rendimiento estándar:** Nivel de producción esperado de acuerdo con los tiempos estándares.

Importancia de los Estándares de Tiempo en las Primas de Supervisión

El uso de estándares de tiempo para la asignación de primas de supervisión permite:

- 1.** Medir la eficiencia de los supervisores y sus equipos.
- 2.** Determinar incentivos basados en el desempeño.
- 3.** Motivar a los supervisores a mejorar la productividad del personal.
- 4.** Optimizar el uso de los recursos humanos y tecnológicos.
- 5.** Reducir costos operativos mediante una mejor gestión del tiempo.

Cálculo de Primas de Supervisión Basadas en Estándares de Tiempo

La prima de supervisión se puede calcular con base en la eficiencia del equipo supervisado. Se usa la siguiente ecuación:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right)$$

P_S = Prima de supervisión.

B = Bono base establecido.

Donde:

E_R = Eficiencia real del equipo supervisado.

E_S = Eficiencia estándar esperada.

- ✓ Si la eficiencia real (ER) del equipo es igual a la eficiencia esperada (ES), la prima será igual al bono base (B).
- ✓ Si la eficiencia real es mayor que la esperada, la prima aumentará.
- ✓ Si la eficiencia real es menor que la esperada, la prima disminuirá proporcionalmente.
- ✓ Si la eficiencia real es superior a la esperada, la prima de supervisión aumenta; si es menor, se reduce.

Aplicaciones Prácticas

El uso de estándares de tiempo para primas de supervisión se aplica en:

- Industria manufacturera: Para evaluar el desempeño de los supervisores de líneas de producción.
- Centros logísticos: Para medir la eficiencia en la gestión de almacenes y distribución.
- Sector de servicios: Para controlar tiempos en atención al cliente y soporte técnico.
- Construcción: Para supervisar la eficiencia en la ejecución de proyectos de infraestructura.

Ejemplos y Ejercicios Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo de la Prima de Supervisión

Un supervisor tiene un bono base de \$500. Su equipo tiene una eficiencia estándar del 85%, pero logra alcanzar una eficiencia real del 95%. Calcular la prima de supervisión.

Solución:

1. Aplicación de la fórmula:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right)$$

Donde:

- B=500 pesos (Bono base)
- E_R=95%= 0.95 (Eficiencia real)
- E_S=85%= 0.85 (Eficiencia estándar esperada)

2. Cálculo del resultado:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right) = 500 \left(\frac{0.95}{0.85} \right) = 500(1.1176) = 558.82$$

El supervisor recibe una prima de \$558.82

Ejemplo 2: Cálculo de la Prima con Eficiencia Baja

Si en el ejemplo anterior la eficiencia real hubiese sido 80%, calcular la nueva prima de supervisión.

Solución:

Paso 1: Aplicación de la fórmula:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right)$$

Donde:

- B=500 pesos (Bono base)
- $E_R=80\%= 0.80$ (Nueva Eficiencia real)
- $E_S=85\%= 0.85$ (Eficiencia estándar esperada)

Paso 2: Cálculo del resultado:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right) = 500 \left(\frac{0.80}{0.85} \right) = 500(0.9412) = 470.59$$

Con una eficiencia menor, el supervisor recibe una prima de \$470.59.

Ejercicio 1:

Cálculo de Prima de Supervisión con Diferente Bono Base

Una empresa ofrece un bono base de \$700 a un supervisor con una eficiencia estándar del 90%. Su equipo logra una eficiencia real del 100%. Calcular la prima de supervisión.

Solución:

Paso 1: Aplicación de la fórmula:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right)$$

Donde:

- B=700 pesos (Bono base)
- $E_R=100\%= 1.00$ (Eficiencia real)
- $E_S=90\%= 0.90$ (Eficiencia estándar esperada)

Paso 2: Cálculo del resultado:

$$P_S = B \left(\frac{E_R}{E_S} \right) = 700 \left(\frac{1.00}{0.90} \right) = 700(1.1111) = 777.78$$

Con una eficiencia menor, el supervisor recibe una prima de \$777.78.

Conclusiones

El uso de estándares de tiempo como base para la asignación de primas de supervisión permite mejorar la productividad y motivación dentro de la empresa. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Fomento de la Eficiencia: Los supervisores se ven incentivados a optimizar el rendimiento de sus equipos.
2. Justificación de Bonos: Se establecen métricas claras para la asignación de incentivos salariales.

3. Mejora en la Planificación: Los estándares de tiempo permiten prever el desempeño y establecer objetivos realistas.
4. Reducción de Costos Operativos: Se minimizan tiempos improductivos al incentivar la eficiencia.
5. Mayor Competitividad Empresarial: Empresas con programas de incentivos bien estructurados logran mejorar su posicionamiento en el mercado.

4.2.4. Cumplimiento de las normas de calidad.

Los estándares de tiempo son herramientas fundamentales en la gestión de la calidad, ya que permiten garantizar que los procesos de producción cumplan con las normas establecidas sin comprometer la eficiencia operativa. La correcta implementación de tiempos estándar asegura la uniformidad en la fabricación, reduce la variabilidad y minimiza los defectos, contribuyendo al cumplimiento de certificaciones de calidad como ISO 9001, IATF 16949 y Six Sigma.

Conceptos Básicos

- Estándares de tiempo: Valores predeterminados que establecen el tiempo requerido para completar una tarea bajo condiciones normales de operación.
- Normas de calidad: Regulaciones que garantizan la uniformidad y cumplimiento de especificaciones en productos y servicios.
- Tiempo de ciclo: Tiempo total para completar una unidad de producción desde el inicio hasta el final del proceso.
- Eficiencia del proceso: Relación entre el tiempo estándar y el tiempo real empleado en la producción.
- Variabilidad en la producción: Diferencias en el tiempo de ejecución que pueden afectar la calidad del producto final.

Importancia de los Estándares de Tiempo en la Calidad

El uso de estándares de tiempo en la gestión de calidad permite:

1. Garantizar la uniformidad en la producción.
2. Reducir defectos y retrabajos.
3. Optimizar la trazabilidad y control del proceso.
4. Cumplir con normativas y certificaciones internacionales.
5. Incrementar la satisfacción del cliente mediante productos consistentes.

Cálculo de los Estándares de Tiempo en Procesos de Calidad

El tiempo estándar (T_E) se obtiene considerando el tiempo normal de producción y un factor de holgura que compensa variaciones inevitables:

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

Donde:

- T_E = Tiempo estándar.
- T_N = Tiempo normal.
- H = Factor de holgura expresado en decimal.

Para medir la eficiencia del proceso, se usa la ecuación:

$$E = \left(\frac{T_N}{T_R} \right) 100$$

Donde:

- E = Eficiencia del proceso (%).
- T_N = Tiempo normal.
- T_R = Tiempo real empleado.

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo para cumplimiento de normas de calidad se aplican en:

- Industria automotriz: Control de tiempos en el ensamblaje para cumplir con IATF 16949.
- Sector farmacéutico: Control de producción conforme a Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).
- Electrónica: Implementación de procesos estandarizados bajo la norma ISO 9001.
- Alimentación: Control de calidad en producción de acuerdo con la normativa HACCP.

El uso de estándares de tiempo en la gestión de calidad es esencial para garantizar el cumplimiento de normativas y mejorar la eficiencia operativa. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Mejora en la Calidad del Producto: Ayuda a reducir defectos y retrabajos mediante la estandarización del tiempo de producción.
2. Cumplimiento de Normas Internacionales: Facilita la certificación en normas como ISO 9001 e IATF 16949.
3. Optimización de Procesos: Permite evaluar y mejorar la eficiencia en la producción.
4. Reducción de Costos: Minimiza desperdicios y tiempos improductivos.
5. Mayor Satisfacción del Cliente: Asegura la entrega de productos homogéneos y de alta calidad

4.2.5. Elevación de los estándares de personal.

Los estándares de tiempo son una herramienta esencial en la mejora del desempeño del personal dentro de una organización. La elevación de los estándares de personal mediante la optimización de tiempos de trabajo permite mejorar la eficiencia operativa, incrementar la productividad y garantizar la competitividad en el mercado. La implementación de tiempos estándar en la gestión del personal ayuda a establecer expectativas claras y a mejorar la capacitación y el desempeño laboral.

Conceptos Básicos

- Estándares de tiempo: Valores predefinidos que determinan el tiempo requerido para realizar una tarea bajo condiciones normales.
- Estandarización del personal: Mejora de la calidad del trabajo mediante la definición de tiempos y procesos.
- Productividad laboral: Medida de la cantidad de trabajo realizada en un período determinado.
- Eficiencia del desempeño: Relación entre el tiempo estándar y el tiempo real utilizado por los empleados.
- Optimización del talento humano: Uso eficiente de los recursos humanos mediante la capacitación y asignación de tareas con base en tiempos establecidos. (Konz & Johnson, 2008).

Importancia de los Estándares de Tiempo en la Elevación del Desempeño del Personal

El uso de estándares de tiempo en la mejora del personal permite:

1. Definir expectativas de desempeño claras.
2. Reducir la variabilidad en la ejecución de tareas.
3. Optimizar la capacitación del personal con tiempos de referencia.
4. Mejorar la evaluación del rendimiento laboral.
5. Incrementar la eficiencia operativa y reducir tiempos improductivos.

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo en la elevación del personal se aplican en:

- Industria manufacturera: Para capacitar empleados en líneas de producción con tiempos optimizados.
- Call centers y atención al cliente: Para mejorar tiempos de respuesta y servicio.
- Sector de la salud: Para optimizar la eficiencia de médicos y enfermeros en la atención de pacientes.

- Logística y distribución: Para aumentar la eficiencia en el manejo de inventarios y transporte de mercancías.

4.3. Simplificación de los problemas de dirección de la empresa.

Los estándares de tiempo son herramientas clave en la gestión empresarial, ya que permiten simplificar la toma de decisiones y optimizar los procesos organizacionales. Su implementación mejora la eficiencia operativa, facilita la planificación estratégica y ayuda a la dirección de la empresa a gestionar recursos de manera óptima. (Niebel & Freivalds, 2009).

El uso de estándares de tiempo permite a los gerentes evaluar el desempeño de los empleados, prever la demanda de recursos y coordinar mejor las actividades dentro de la organización. De esta manera, se minimizan los problemas de gestión, se evitan retrasos y se mejora la rentabilidad de la empresa.

Conceptos Básicos

- Estándares de tiempo: Tiempos predefinidos que establecen cuánto debe tardar una tarea en condiciones normales.
- Eficiencia operativa: Capacidad de una empresa para optimizar sus recursos minimizando desperdicios.
- Planificación estratégica: Proceso de definir metas y acciones para mejorar el desempeño organizacional.
- Optimización de recursos: Uso eficiente del capital humano, materiales y tecnología.
- Simplificación de la gestión: Reducción de la complejidad en la toma de decisiones mediante el uso de datos estandarizados.

Importancia de los Estándares de Tiempo en la Dirección Empresarial

El uso de estándares de tiempo permite:

1. Mejorar la toma de decisiones basada en datos objetivos.
2. Facilitar la planificación y control de procesos.
3. Optimizar el uso de recursos humanos y tecnológicos.
4. Reducir costos operativos mediante la eliminación de desperdicios de tiempo.
5. Incrementar la productividad y rentabilidad de la empresa.

Aplicaciones Prácticas

Los estándares de tiempo aplicados a la dirección empresarial se utilizan en:

- Planificación de la producción: Para prever tiempos de entrega y evitar retrasos.
- Gestión del talento humano: Para definir tiempos de capacitación y evaluar desempeño laboral.
- Logística y distribución: Para optimizar tiempos de entrega y minimizar costos de transporte.
- Atención al cliente: Para mejorar tiempos de respuesta y calidad en el servicio. (Salvendy, 2012).

Ejercicio 1: Cálculo del Tiempo Estándar para un Proceso Administrativo

Un equipo de trabajo completa una actividad en un tiempo normal de 30 minutos. Si el factor de holgura asignado es del 15%, calcular el tiempo estándar y la eficiencia si el tiempo real de ejecución es 38 minutos.

Paso 1: Cálculo del Tiempo Estándar (T_E)

$$T_E = T_N \times (1 + H) \rightarrow T_E = 30 \times (1 + 0.15) \rightarrow T_E = 30 \times 1.15 = 34.5 \text{ min}$$

Paso 2: Cálculo de la Eficiencia del Proceso (EEE)

$$E = \frac{T_N}{T_R} \times 100 = \frac{30}{38} \times 100 = 78.95\%$$

Tiempo estándar (con holgura del 15%): 34.5 minutos

Eficiencia del proceso: 78.95%

Conclusión

El uso de estándares de tiempo simplifica la dirección empresarial al proporcionar datos precisos para la toma de decisiones. Algunas conclusiones clave incluyen:

1. Reducción de la Complejidad en la Gestión: Permite una administración más eficiente basada en datos concretos.
2. Optimización de los Recursos: Ayuda a distribuir mejor el talento humano y la tecnología disponible.
3. Aumento de la Productividad: Reduce tiempos improductivos y mejora la eficiencia del personal.
4. Mejora en la Rentabilidad: Permite controlar costos y minimizar desperdicios.
5. Facilitación del Cumplimiento de Objetivos: Proporciona bases sólidas para la planificación estratégica

Conclusiones sobre la simplificación de los problemas de dirección de la empresa y su impacto en la rentabilidad

La simplificación de los problemas de dirección es un factor clave para la eficiencia operativa y la rentabilidad de una empresa. A través de la estandarización de procesos, la optimización de recursos y la implementación de metodologías de mejora continua, las organizaciones pueden reducir costos, incrementar la productividad y fortalecer su competitividad en el mercado. A continuación, se detallan los principales impactos de la simplificación en la dirección empresarial y su relación con la rentabilidad. (Niebel & Freivalds, 2009).

Reducción de costos operativos.

Uno de los beneficios más importantes de la simplificación de la dirección empresarial es la reducción de costos operativos. Al eliminar procesos innecesarios y optimizar el uso de recursos, las empresas pueden:

- Reducir gastos administrativos, al disminuir la burocracia y mejorar la toma de decisiones.
- Minimizar desperdicios de tiempo y materiales, optimizando la producción y reduciendo costos de inventario.
- Optimizar la asignación de personal, evitando la contratación innecesaria y mejorando la eficiencia laboral.

Cuando una empresa reduce sus costos sin afectar la calidad o la producción, su margen de rentabilidad aumenta, permitiendo mayores reinversiones en innovación y desarrollo.

Mejora en la toma de decisiones.

Los problemas en la dirección suelen generar procesos lentos y decisiones poco efectivas. Sin embargo, al simplificar estos problemas mediante estándares de gestión y datos objetivos, la empresa logra:

- Tomar decisiones más rápidas y precisas, basadas en información clara y estructurada.
- Reducir la incertidumbre y los errores de gestión, evitando costos adicionales por malas decisiones.
- Optimizar el uso del tiempo de los directivos, permitiéndoles enfocarse en estrategias de crecimiento y no en problemas operativos.

Cuando la toma de decisiones es más eficiente, la empresa responde mejor a cambios en el mercado y aprovecha oportunidades de negocio de manera más rentable.

Incremento de la Productividad.

La simplificación de los problemas de dirección tiene un impacto directo en la productividad de la empresa, ya que:

- Reduce la duplicidad de funciones y actividades innecesarias.
- Automatiza procesos repetitivos, permitiendo que los empleados se enfoquen en tareas de mayor valor.
- Mejora la planificación y coordinación entre departamentos, reduciendo tiempos de espera y optimizando los flujos de trabajo.

Una mayor productividad significa más producción con los mismos o menores recursos, lo que aumenta la rentabilidad sin necesidad de inversiones excesivas.

Mayor Satisfacción y Compromiso del Personal.

Los problemas de dirección no solo afectan la rentabilidad, sino también el clima laboral. Una gestión compleja y desordenada genera estrés, baja moral y desmotivación en los empleados. Al simplificar la dirección empresarial:

- Se mejora la comunicación interna, reduciendo conflictos y malentendidos.
- Los empleados reciben instrucciones más claras, lo que disminuye errores y aumenta la eficiencia.
- Se establecen procesos de trabajo más estructurados, facilitando la capacitación y el crecimiento profesional.

Un equipo de trabajo motivado y bien dirigido es más productivo, comete menos errores y contribuye al crecimiento sostenible de la empresa, mejorando su rentabilidad.

Optimización del uso de recursos y tecnología.

Una empresa con problemas en su dirección tiende a desperdiciar recursos y no aprovechar al máximo la tecnología disponible. Sin embargo, al simplificar sus procesos:

- Se implementan herramientas tecnológicas eficientes, como sistemas de gestión empresarial (ERP) y automatización de procesos.

- Se reduce el tiempo dedicado a tareas manuales, aumentando la eficiencia operativa.
- Se optimiza el uso de maquinaria y materiales, disminuyendo costos por desperdicio y mantenimiento.

La correcta administración de recursos y tecnología permite maximizar la rentabilidad, ya que la empresa produce más con menos costos.

Mayor competitividad en el mercado.

Las empresas que logran simplificar sus problemas de dirección son más ágiles, flexibles y competitivas en un entorno globalizado. Esto se traduce en:

- Mayor capacidad de adaptación a cambios en el mercado.
- Reducción de tiempos de respuesta a clientes y proveedores.
- Mejora en la calidad de los productos y servicios.
- Mayor enfoque en la innovación y desarrollo de nuevos negocios.

Al volverse más competitiva, una empresa puede captar más clientes, expandirse a nuevos mercados y aumentar sus ingresos, lo que impacta directamente en su rentabilidad.

Reducción del riesgo empresarial y mayor estabilidad financiera.

Las empresas con una dirección eficiente son menos propensas a problemas financieros y operativos. Al simplificar la gestión empresarial:

- Se evitan errores en la planificación financiera y presupuestaria.
- Se reduce la probabilidad de incumplimientos legales o regulatorios.
- Se mejora la capacidad de reacción ante crisis económicas o imprevistos.

Una empresa con una dirección bien estructurada es más estable y rentable a largo plazo, ya que minimiza riesgos y maximiza oportunidades.

La simplificación de los problemas de dirección de la empresa tiene un impacto significativo en la rentabilidad, ya que permite reducir costos, mejorar la productividad y optimizar el uso de recursos. Al eliminar procesos innecesarios y establecer un modelo de gestión más eficiente, las empresas pueden tomar mejores decisiones, aumentar su competitividad y garantizar un crecimiento sostenible.

En un entorno empresarial altamente competitivo, aquellas organizaciones que logran simplificar su gestión y mejorar su eficiencia operativa tienen mayores oportunidades de éxito, crecimiento y rentabilidad en el mercado.

4.4. Uso de software Minitab 19 para aplicar los datos estándar.

Datos Estándar de Producción, incluyendo los tiempos observados, tiempos normales ajustados por eficiencia y tiempos estándar con una tolerancia del 10%

Operación	Tpo. Observado (s)	Eficiencia	Tpo. Normales (s)	Tpo. Estándar (s)
A	50	90	45	49.5
B	42	85	35.69	39.26
C	55	92	50.6	55.66
D	60	88	52.8	58.08
E	48	87	41.76	45.94

Tabla 4.2. Datos de 5 observaciones de tiempo estándar para aplicar Minitab.

Análisis Estadístico en Minitab

Estadísticas Descriptivas

Ve a Estadísticas > Estadísticas Básicas > Mostrar Estadísticos Descriptivos.

Selecciona la columna Tiempo Estándar (s).

Activa las opciones Media, Mediana, Desviación estándar y Mínimo/Máximo.

Esto te dará una visión de la variabilidad de los tiempos estándar.

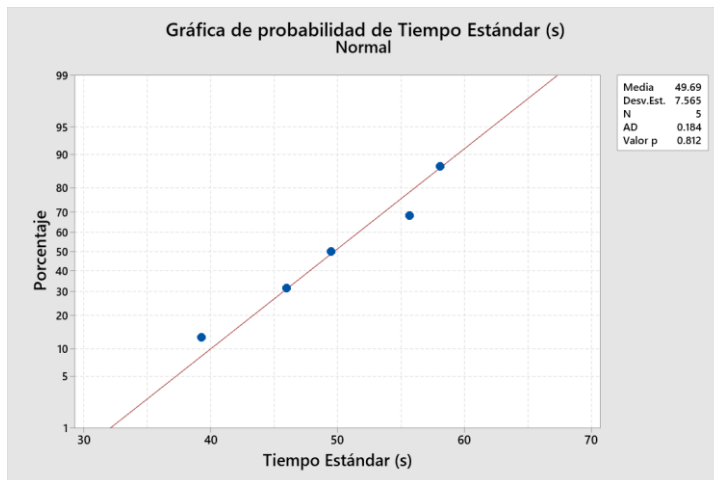
Resultado Estadísticos Descriptivos: Tiempo Estándar (s)

Estadísticas							
Variable	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Tiempo Estándar (s)	5	0	49.69	7.56	39.26	49.50	58.08

Prueba de Normalidad

Ve a Estadísticas > Herramientas de calidad > Prueba de Normalidad.

Selecciona la columna Tiempo Estándar (s).



Con un valor $p \geq 0.05$, se tiene un comportamiento normal de los datos; Esto verificará si los tiempos estándar siguen una distribución normal, clave para estudios de control.

Grafica 4.1. Diagrama de probabilidad de tiempo estándar (s).

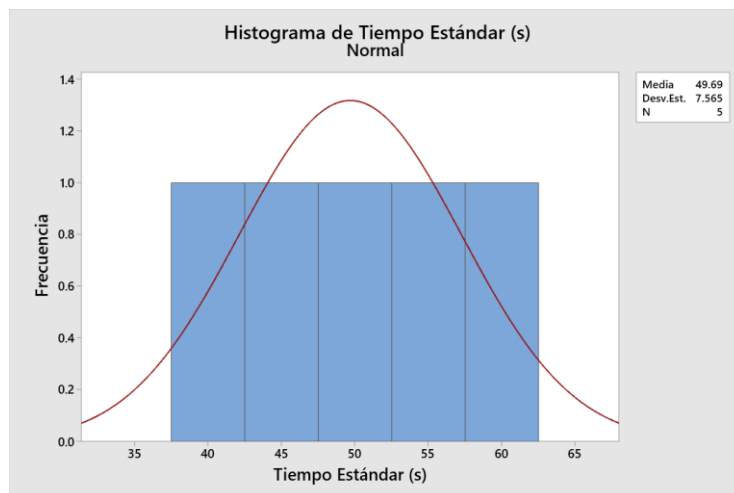
Generar Gráficos en Minitab 19

Histograma de Distribución de Tiempos

Ve a Gráficos > Histograma > Con ajuste de distribución.

Selecciona Tiempo Estándar (s) como variable de medición.

Esto mostrará la distribución de los tiempos estándar y si hay variaciones importantes.

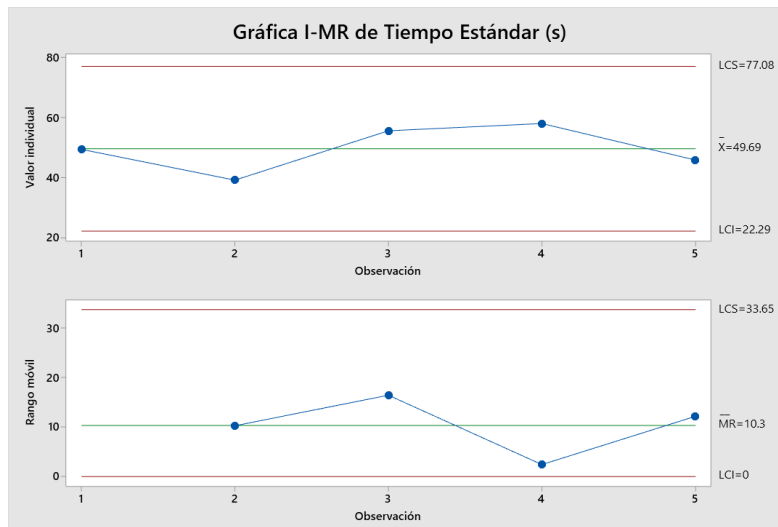


Grafica 4.2. Histograma de tiempo estándar (s).

Gráfico de Control (Xbarra-R)

Ve a Estadísticas > Gráficos de control > graficas de variable para valores individuales > I-MR > Selecciona Tiempo Estándar (s).

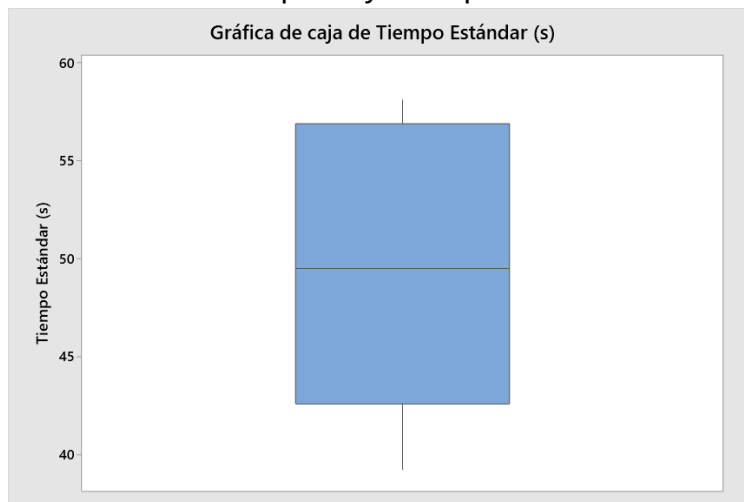
Esto ayudará a ver si los procesos están bajo control o hay variaciones.



Grafica 4.3. Carta de Control I-MR de tiempo estándar (s).

Gráfico de Caja (Boxplot)

Ve a Gráficos > Gráfica de Cajas > Simple > Selecciona Tiempo Estándar (s). Este gráfico visualizará valores atípicos y la dispersión de los datos estándar.



Grafica 4.4. de tipo de Caja de la variable tiempo estándar (s).

Minitab permite validar si los tiempos estándar son consistentes. Los gráficos de control ayudan a detectar variaciones inesperadas en el proceso. El análisis de normalidad es clave para decisiones en estudios de capacidad y verificar que los valores son normales y representativos de los tiempos de producción.

Referencias Bibliográficas

- BMT International. (2015). Basic Motion Time Study Manual. BMT International.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674-693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.010>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- ILO (International Labour Organization). (1992). *Introduction to work study* (4ª ed.). International Labour Office.
- Konz, S., & Johnson, S. (2008). *Work Design: Occupational Ergonomics* (7th ed.). CRC Press.
- Lowry, S. M., Maynard, H. B., & Stegemerten, G. J. (1940). *Time and Motion Study and Formulas*. McGraw-Hill.
- Maynard, H. B. (1948). *Industrial Engineering Handbook*. McGraw-Hill.
- Maynard, H. B. (2001). *Industrial engineering handbook* (5ª ed.). McGraw-Hill.
- McCormick, E. J. (2000). *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill.
- Meyers, F. E., & Stewart, J. R. (2002). *Motion and Time Study for Lean Manufacturing* (3rd ed.). Pearson Education.
- MODAPTS International. (2010). *MODAPTS System Manual*. MODAPTS International.
- MTM Association. (2012). *MTM System Manual*. MTM International.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. McGraw-Hill.
- Rekiek, B., & Delchambre, A. (2006). *Assembly line design: The balancing of mixed-model hybrid assembly lines*. Springer.
- Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley.
- Tecnológico Nacional de México. (2016). *Estudio del Trabajo II*. TecNM.
- Zandin, K. B. (2003). *MOST Work Measurement Systems*. CRC Press.