



Fundamentos del estudio del trabajo: Métodos y aplicaciones

Francisco Javier Torres Barajas

Alejandro Lozano González

Luz Karina Hernández Garza

Gregorio Araujo Aceves

Rafael González Bravo

José de Jesús Cabrera Chavarría

Julieta Carrasco García

Laura Estela Páez Rivas

Fundamentos del Estudio del Trabajo: Métodos y Aplicaciones



Fundamentos del Estudio del Trabajo: Métodos y Aplicaciones

Francisco Javier Torres Barajas
Alejandro Lozano González
Luz Karina Hernández Garza
Gregorio Araujo Aceves
Rafael González Bravo
José de Jesús Cabrera Chavarría
Julieta Carrasco García
Laura Estela Páez Rivas



Fundamentos del Estudio del Trabajo: Métodos y Aplicaciones. **Coordinadores:** Francisco Javier Torres Barajas, Alejandro Lozano González, Luz Karina Hernández Garza, Gregorio Araujo Aceves, Rafael González Bravo, José de Jesús Cabrera Chavarría, Julieta Carrasco García y Laura Estela Páez Rivas. —Guadalajara, Jalisco, México. 2025.

176 p. 23 cm

ISBN: **979-13-87837-83-9**

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE20256425>



Primera edición: 2025

Edición y corrección: **Astra Ediciones**



Todos los contenidos de esta obra se comparten bajo la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (**CC BY-NC-SA 4.0**). Esto implica que no está autorizado el uso comercial de la obra original ni de las eventuales obras derivadas, las cuales deberán distribuirse bajo la misma licencia que rige la obra original. No obstante, se permite a terceros compartir el contenido siempre y cuando se reconozca debidamente la autoría y la publicación original en esta editorial.

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

*"La clave del éxito es no tomar las técnicas de mejora
individualmente.
Lo que importa es unir todas las herramientas en un
Sistema".*

Taiichi Ohno 1912-1990

*Para mi padre, el primer gran ingeniero que me enseñó
el valor la vida y que nunca hay que bajar los brazos.
Para Victoria y Julieta, dos pequeñitos motores
que hacen mover un gran mundo.*

Contenido

Introducción	11
---------------------------	-----------

Capítulo 1

Estudio de métodos	13
Introducción	14
1.1 Análisis de pocesos productivos	14
1.2 Diagramas de flujo y recorrido	16
1.3 Técnicas de simplificación del trabajo	18
1.4. Estudio de movimientos (Therbligs).....	20
1.5. Rediseño de tareas y procesos	22
1.6. Uso de software para análisis de métodos	23
1.7. Evaluación de eficiencia en métodos actuales	24
1.8. Aplicación de principios de economía de movimientos	24
1.9. Integración de tecnologías en métodos de trabajo	25
1.10. Mejora continua en procesos operativos.....	26
Resumen de la unidad 1	28
Cuestionario complementario	30
Actividades complementarias	34

Capítulo 2

Medición del trabajo	67
Introducción	68
2.1. Técnicas de cronometraje directo	68
2.2. Establecimiento de estándares de tiempo	70
2.3. Muestreo del trabajo (Work Sampling).....	73
2.4. Sistemas de tiempos predeterminados (MTM, MOST).	75
2.5. Análisis de datos históricos de producción	78
2.6. Calibración de herramientas de medición.....	80
2.7. Evaluación de la confiabilidad de los estándares.....	84
2.8. Ajuste de tiempos por fatiga y demoras.....	86

2.9. Comparación de métodos de medición	89
2.10. Automatización en la recolección de datos de tiempo.	92
Cuestionario complementario	95
Actividades complementarias	101

Capítulo 3

Productividad laboral	125
Introducción	126
3.1. Balanceo de líneas.....	127
3.2. Indicadores clave de productividad (KPI)	129
3.3. Identificación y eliminación de cuellos de botella.....	131
3.4. Técnicas de mejora continua (KAIZEN, Lean)	131
3.5. Gestión del tiempo y priorización de tareas.....	133
3.6. Benchmarking de productividad	135
3.7. Análisis de causas de baja productividad.....	136
Cuestionario complementario	139
Actividades Complementarias	143

Anexos	161
---------------------	-----

Glosario	171
-----------------------	-----

Bibliografía	173
---------------------------	-----

Introducción

El estudio del trabajo constituye una disciplina fundamental en el ámbito de la ingeniería industrial, la administración de operaciones y la gestión de procesos, pues proporciona las herramientas necesarias para optimizar la eficiencia, mejorar la productividad y garantizar condiciones laborales más seguras y ergonómicas.

En este libro, Fundamentos del estudio del trabajo: métodos y aplicaciones, se presenta un análisis riguroso y sistemático de los principios teóricos y metodológicos que sustentan esta área, junto con casos prácticos y aplicaciones reales que ilustran su relevancia en diversos sectores industriales y de servicios.

A lo largo de sus capítulos, el lector encontrará:

- Una revisión detallada de los métodos clásicos y contemporáneos del estudio del trabajo, incluyendo el estudio de tiempos y movimientos, el muestreo del trabajo y técnicas de simplificación de procesos.
- El desarrollo de competencias para analizar, medir y mejorar métodos de trabajo, con énfasis en la reducción de desperdicios y el incremento de la eficiencia operativa.
- La integración de tecnologías emergentes, como la automatización y la analítica de datos, en la evolución de esta disciplina.
- Ejercicios y casos de estudio basados en experiencias reales, que facilitan la comprensión y aplicación de los conceptos en entornos laborales diversos.

Este libro está dirigido a estudiantes de ingeniería, profesionales en ejercicio y académicos interesados en profundizar en las técnicas que permiten maximizar el rendimiento de los sistemas productivos sin descuidar el bienestar del recurso humano.

Con un enfoque tanto teórico como práctico, se espera que esta publicación se convierta en un referente para quienes buscan dominar los fundamentos del estudio del trabajo y aplicarlos con éxito en un mundo laboral en constante transformación.

Capítulo 1

Estudio de métodos

Introducción

El estudio de métodos es una disciplina esencial dentro del campo de la ingeniería industrial y la gestión de operaciones, enfocada en el análisis y mejora de los procesos de trabajo para incrementar la eficiencia, reducir costos y optimizar el uso de recursos. Su aplicación sistemática permite identificar ineficiencias, eliminar movimientos innecesarios y diseñar procedimientos más efectivos, contribuyendo así a la competitividad de las organizaciones.

En este capítulo, "Estudio de Métodos", se abordarán los principios fundamentales, las técnicas más utilizadas y las herramientas analíticas que permiten evaluar y rediseñar métodos de trabajo. Desde los enfoques clásicos, como los desarrollados por Taylor y Gilbreth, hasta metodologías modernas apoyadas en tecnologías digitales, se proporcionará una visión integral que combina teoría y práctica. Además, se discutirán casos reales donde la aplicación del estudio de métodos ha generado mejoras significativas en productividad y ergonomía.

1.1 Análisis de procesos productivos

El análisis de procesos productivos es una herramienta fundamental dentro del Estudio de Métodos, que busca optimizar los sistemas de producción mediante la evaluación sistemática de las operaciones, recursos y flujos de trabajo. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, reducir costos, eliminar desperdicios y aumentar la productividad sin comprometer la calidad.

Este análisis se aplica en diversos sectores, desde la manufactura hasta los servicios, y se basa en metodologías como el diagrama de flujo, estudio de tiempos y movimientos y la reingeniería de procesos. Su implementación permite identificar cuellos de botella, actividades redundantes y oportunidades de mejora continua.

El segundo nivel de análisis del trabajo corresponde a la operación.

En este caso se parte de la base de que en ella intervienen los siguientes elementos:

- a) El hombre
- b) La máquina
- c) Las herramientas
- d) El lugar de trabajo

Se puede decir que el objeto de analizar las operaciones es racionalizar el uso de dichos elementos y elevar el nivel de eficiencia del trabajo desarrollado. Existen técnicas que se utilizan para efectuar registros y posteriormente el análisis de las operaciones.

Diagrama de proceso hombre-máquina

El diagrama de proceso hombre-máquina es una herramienta fundamental en el estudio de métodos y la ingeniería industrial, utilizada para analizar y optimizar la interacción entre un operador y una o más máquinas durante un proceso productivo. Su objetivo es identificar tiempos muertos, mejorar la eficiencia y balancear las cargas de trabajo.

El diagrama hombre-máquina registra las actividades simultáneas de un operador y su máquina a lo largo de un ciclo de trabajo, permitiendo visualizar:

- Tiempos activos (operación, carga/descarga).
- Tiempos de espera (del operador o de la máquina).
- Oportunidades de mejora (reducir inactividades, redistribuir tareas).

Propósitos principales:

- Maximizar la utilización de recursos (hombre y máquina).
- Reducir costos mediante la eliminación de tiempos improductivos.
- Establecer estándares de producción.

Dentro de los beneficios de la aplicación de este diagrama están:

- Balanceo de líneas: Distribuir tareas para minimizar cuellos de botella.
- Cálculo de productividad: Determinar ciclos óptimos.
- Rediseño de puestos de trabajo: Integrar automatización o asistencia.

1.2 Diagramas de flujo y recorrido

Los diagramas de flujo y recorrido representan herramientas fundamentales en el análisis y mejora de procesos dentro de la ingeniería industrial y la gestión operativa. Estas técnicas gráficas permiten visualizar de manera sistemática tanto la secuencia lógica de actividades (diagramas de flujo) como el desplazamiento físico de materiales, personas o información (diagramas de recorrido). Su aplicación se remonta a los principios de la administración científica y ha evolucionado para adaptarse a las complejidades de los sistemas productivos modernos.

Mientras los diagramas de flujo emplean símbolos estandarizados (BPMN, ANSI) para documentar procesos administrativos, industriales o tecnológicos, los diagramas de recorrido se apoyan en planos o layouts para optimizar rutas, reducir distancias y minimizar tiempos en entornos como almacenes, hospitales o líneas de producción. Estudios recientes (Niebel y Freivalds, 2014; Muther, 2015) demuestran que su uso combinado puede generar reducciones de hasta 40 % en tiempos de transporte y 25 % en costos operativos.

En la era de la transformación digital, estas herramientas se han integrado con plataformas de simulación computacional y Process Mining, amplificando su capacidad para identificar cuellos de botella. Este análisis explora su metodología, aplicaciones sectoriales y beneficios documentados, destacando su papel como instrumentos indispensables para la toma de decisiones basada en evidencia visual.

Los diagramas de flujo y diagramas de recorrido son herramientas clave en ingeniería industrial, análisis de procesos y mejora continua. Aunque ambos se utilizan para representar procesos, tienen enfoques distintos:

- Diagrama de flujo: Describe la secuencia lógica de operaciones.
- Diagrama de recorrido: Representa el movimiento físico de materiales, personas o información.

El objetivo principal del diagrama de flujo es mostrar las etapas de un proceso, incluyendo operaciones, inspecciones, transportes, almacenamientos y demoras en una secuencia lógica. Los símbolos estandarizados

que se utilizan son:

1. Operación (símbolo: ●)
2. Inspección (símbolo: ■)
3. Transporte (símbolo: →)
4. Almacenamiento (símbolo: ▼)
5. Demora (símbolo: D)

En cambio, el Diagrama de recorrido su objetivo es visualizar el movimiento físico en un plano (layout) para optimizar rutas determinando donde ocurren las cosas. Sus elementos claves para su identificación son:

1. Flechas que indican trayectorias.
2. Distancias entre estaciones.
3. Puntos de congestión.

Diferencias principales:

Aspecto	Diagrama de flujo	Diagrama de recorrido
Enfoque	Secuencia de las actividades	Movimiento físico en el espacio
Representación	Gráfico con símbolos	Plano o mapa de flechas
Uso principal	Análisis de pasos	Optimización de layout
Herramientas	Software de diagramación	CAD, AutoCAD, Visio

Las áreas principales del diagrama de flujo son las manufactureras, donde se pueden mejorar las líneas de producción. El área logística para el análisis de la cadena de suministros, el área de servicios para el mapeo de procesos administrativos, por ejemplo, la atención a clientes.

Para el diagrama de recorrido, su utilización principal está enfocada para las distribuciones en plantas industriales para la reducción de distancias en almacenes, en hospitales para la optimización de rutas de pacientes, en almacenes logísticos para la minimización de tiempos en picking, en los aeropuertos para el diseño de flujos de pasajeros, entre otros.

Dentro de los beneficios de la utilización, podemos encontrar:

Diagrama de flujo	Diagrama de recorrido
Identifica redundancias: elimina pasos innecesarios	Reduce tiempos de transporte: optimiza los layouts
Estandariza procesos: facilita la capacitación	Minimiza los costos logísticos: menor desplazamiento de materiales
Base para la automatización: clarifica flujos para RPA (Robotic Process Automation)	Mejora ergonómica: evita movimientos innecesarios de operarios

También cuentan con algunas limitaciones para su utilización y análisis:

Diagrama de flujo	Diagrama de recorrido
No considera restricciones espaciales	Depende de la precisión del plano
Requiere actualización constante si el proceso cambia	No analiza tiempos de operación, solo movimientos

Mientras el diagrama de flujo es esencial para entender la lógica de un proceso, el diagrama de recorrido complementa el análisis al optimizar el espacio físico. Su uso combinado es clave en proyectos de Lean Manufacturing y Logística 4.0.

1.3 Técnicas de simplificación del trabajo

Las técnicas de simplificación del trabajo son metodologías sistemáticas utilizadas en ingeniería industrial y gestión de operaciones para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la productividad. Estas herramientas buscan eliminar actividades innecesarias, estandarizar métodos y facilitar la ejecución de tareas.

Técnicas:	Estudio de Métodos	Estudio de Tiempos	Análisis de Procesos	5S	Poka-Yoke
Enfoque:	Analizar movimientos del operador para eliminar esfuerzos innecesarios (basado en los principios de Frank y Lillian Gilbreth)	Medir el tiempo estándar de una tarea para establecer benchmarks	Mapear secuencias de actividades con diagramas de flujo o SIPOC	Organizar el espacio de trabajo (Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Sostener)	Diseñar sistemas que prevengan defectos (ej.: sensores en líneas de producción)
Herramientas:	Diagramas bimanuales, cronometraje	Cronómetros, software de medición (ej.: MOST, MTM)	Flowcharts, VSM (Value Stream Mapping)	Checklist, auditorías visuales	Dispositivos mecánicos/electrónicos
Aplicación:	Líneas de ensamblaje, trabajos repetitivos	Determinación de estándares de producción	Mejora continua (Kaizen, Lean)	Manufactura, logística, oficinas	Automoción, electrónica

Los beneficios que se pueden obtener al utilizar estas técnicas son el aumento de la productividad, ya que se eliminan pasos redundantes, la reducción de costos al desperdiciar menos materia y/o tiempo, la mejora en la calidad por menos errores (implementación de un Poka-Yoke), la seguridad laboral, ya que se busca un estado ergonómico al realizar la menor cantidad de pasos innecesarios en una operación. En sus limitaciones se encuentra la adaptación de un nuevo método o resistencia al cambio, el costo inicial que pudiera ser la inversión tecnológica (actualizaciones de los equipos o herramientas), entre otras, dependiendo del contexto de la empresa o industria a intervenir.

1.4. Estudio de movimientos (Therbligs)

El estudio de movimientos (*Therbligs*) constituye una de las metodologías más rigurosas y sistemáticas desarrolladas para el análisis científico del trabajo. Creado por Frank y Lillian Gilbreth en la segunda década del siglo XX, este sistema descompone cualquier tarea manual en sus 18 elementos fundamentales de movimiento, permitiendo cuantificar y optimizar cada acción ejecutada por un operario. Su relevancia persiste en la era moderna, siendo aplicado tanto en entornos industriales tradicionales como en procesos de automatización avanzada.

A diferencia de los estudios de tiempos convencionales, los *Therbligs* proporcionan un enfoque microanalítico que identifica no solo la duración de las actividades, sino también su naturaleza (productiva, no productiva o esencial). Esta granularidad ha demostrado ser particularmente valiosa para:

- Rediseñar estaciones de trabajo con criterios ergonómicos,
- Eliminar movimientos superfluos en líneas de ensamblaje,
- Establecer estándares de eficiencia en procesos logísticos, y
- Fundamentar el desarrollo de sistemas robóticos y de automatización.

La vigencia de esta técnica se refleja en su integración con tecnologías contemporáneas como sistemas de captura de movimiento (mocap) y simulaciones digitales, que permiten amplificar su precisión. Investigaciones recientes en el campo de la ingeniería industrial (Barnes, 2018; Konz, 2019) corroboran que la aplicación de *Therbligs* sigue generando mejoras de productividad entre 15% y 30% en diversos sectores. Este documento examina su fundamentación teórica, metodología de aplicación y casos paradigmáticos, ofreciendo una perspectiva actualizada de su utilidad en la optimización de procesos.

El Estudio de Movimientos con *Therbligs* fue desarrollado por Frank Bunker Gilbreth (1868-1924) y su esposa Lillian Moller Gilbreth (1878-1972), pioneros de la ingeniería industrial y padres de la ergonomía moderna. Su trabajo surgió en la era de la administración científica de Taylor, pero con un enfoque distinto:

- Taylor se centró en tiempos estándar.
- Los Gilbreth analizaron los movimientos fundamentales para eliminar desperdicios.

El término *Therblig* (Gilbreth escrito al revés) representa las 18 unidades básicas de movimiento identificadas en cualquier tarea manual. Los *Therbligs* se basan en la economía de movimientos con 16 principios para reducir fatiga (ej.: dos manos deben trabajar simultáneamente) y la psicología industrial que Lillian integró los aspectos humanos (motivación, fatiga).

<i>Therblig</i>	Símbolo	Tipo	Descripción
Buscar (Search)	SH	No productivo	Ojos/manos buscan un objeto
Encontrar (Find)	F	No productivo	Identificar visualmente un objeto
Seleccionar (Select)	ST	No productivo	Elegir un objeto entre varios similares
Agarrar (Grasp)	G	Esencial	Contacto físico para controlar un objeto
Transportar vacío (Transport Empty)	TE	No productivo	Mover la mano sin carga
Transportar cargado (Transport Loaded)	TL	Esencial	Mover un objeto con la mano
Posicionar (Position)	P	No productivo	Ajustar un objeto para su uso
Unir (Assemble)	A	Productivo	Acoplar dos componentes
Separar (Disassemble)	DA	Productivo	Desacoplar componentes
Usar (Use)	U	Productivo	Emplear una herramienta para su fin
Soltar (Release Load)	RL	Esencial	Liberar control sobre un objeto

Inspeccionar (Inspect)	I	No productivo	Verificar calidad o especificaciones.
Esperar (Delay)	D	No productivo	Tiempo de inactividad inevitable.
Demora evitable (Unavoidable Delay)	UD	No productivo	Inactividad por fallos del sistema.
Planear (Plan)	PN	No productivo	Tiempo mental para decidir el siguiente paso.
Descansar (Rest)	R	No productivo	Pausa para recuperación física.
Sostener (Hold)	H	No productivo	Mantener un objeto sin acción.
Preposicionar (Preposition)	PP	No productivo	Colocar un objeto para facilitar el siguiente paso.

1.5. Rediseño de tareas y procesos

El rediseño de tareas y procesos constituye una estrategia fundamental para la transformación organizacional en el actual entorno competitivo. Este enfoque metodológico, que encuentra sus raíces en los trabajos seminales de Hammer y Champy (1993) sobre reingeniería de procesos, ha evolucionado hacia un modelo más integral que combina principios de eficiencia operacional con diseño centrado en el ser humano.

En la era de la digitalización avanzada, el rediseño de procesos incorpora:

- Técnicas de análisis de procesos asistidas por IA (Process Mining)
- Simulaciones mediante gemelos digitales para pruebas virtuales
- Enfoques de experiencia del empleado (EX) en el diseño de tareas
- Modelos híbridos que integran automatización y capacidades humanas

Estudios recientes de McKinsey (2023) y el MIT Center for Information Systems Research (2023) revelan que las organizaciones que implementan rediseños sistemáticos logran:

- Reducciones del 30-45 % en costos operativos
- Mejoras del 25-40 % en tiempos de ciclo
- Incrementos del 20-35 % en satisfacción laboral
- Aumentos del 15-30 % en calidad de producto/servicio

Este análisis explora los marcos metodológicos contemporáneos, las herramientas tecnológicas de apoyo y los factores críticos para implementaciones exitosas, proporcionando una visión integral sobre cómo transformar operaciones mediante el rediseño sistemático en diversos contextos industriales y de servicios.

1.6. Uso de software para análisis de métodos

En el ámbito de la ingeniería industrial y la gestión de operaciones, el uso de software especializado para el análisis de métodos se ha consolidado como una herramienta fundamental para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la productividad. Estas soluciones tecnológicas permiten modelar, simular y evaluar sistemáticamente flujos de trabajo, facilitando la identificación de ineficiencias y la implementación de mejoras basadas en datos. Desde herramientas de diagramación y estudio de tiempos hasta plataformas avanzadas de process mining y simulación dinámica, el software especializado ha transformado la manera en que las organizaciones abordan el diseño y la mejora de métodos de trabajo.

La adopción de estas tecnologías no solo agiliza el análisis de tareas y procesos, sino que también incrementa la precisión en la medición de variables críticas, como tiempos de ciclo, capacidad de producción y ergonomía laboral. Empresas líderes en sectores como la manufactura, logística y servicios han demostrado que la integración de software de análisis de métodos puede traducirse en ganancias tangibles, tales como reducciones de costos, incrementos en la eficiencia y estandarización de mejores prácticas.

Con el avance de la Industria 4.0, estas herramientas han evolucionado para incorporar inteligencia artificial, big data y gemelos digitales, ofreciendo capacidades predictivas y de automatización sin precedentes. Este informe explora los tipos de software disponibles, sus aplicaciones

prácticas, beneficios y desafíos, respaldado por fuentes académicas y casos de éxito documentados en la literatura especializada.

1.7. Evaluación de eficiencia en métodos actuales

La evaluación de eficiencia en métodos actuales se ha convertido en un pilar fundamental para la competitividad organizacional en entornos industriales y de servicios. Este proceso sistemático analiza la relación entre los recursos utilizados (insumos) y los resultados obtenidos (productos), con el objetivo de cuantificar el desempeño de los procesos productivos bajo estándares internacionales.

En la actualidad, la medición de eficiencia ha evolucionado desde enfoques tradicionales basados en indicadores unidimensionales hacia metodologías integrales que incorporan:

- Técnicas de análisis envoltante de datos (DEA) para evaluaciones comparativas.
- Sistemas de monitoreo en tiempo real mediante IoT.
- Modelos híbridos que combinan métricas cuantitativas (tiempos de ciclo, productividad) con cualitativas (ergonomía, satisfacción laboral).

Estudios recientes (Cooper et al., 2022; OECD, 2023) destacan que las organizaciones que implementan evaluaciones periódicas de eficiencia logran incrementos de 18-35 % en productividad y reducciones de 20-28 % en costos operativos. Este documento examina los marcos metodológicos contemporáneos, herramientas tecnológicas de apoyo y casos de éxito documentados, proporcionando un marco de referencia para la optimización de procesos en contextos industriales 4.0.

1.8. Aplicación de principios de economía de movimientos

La aplicación de principios de economía de movimientos constituye un elemento fundamental en la optimización de procesos productivos y ergonómicos dentro de la ingeniería industrial. Desarrollados originalmente por Frank y Lillian Gilbreth en las primeras décadas del siglo XX, estos principios establecen directrices científicas para minimizar el

esfuerzo físico innecesario en las tareas laborales, buscando maximizar la eficiencia operativa mientras se preserva el bienestar del trabajador.

En la actualidad, estos postulados mantienen plena vigencia y han sido enriquecidos con avances tecnológicos, integrando:

- Sistemas de captura de movimiento mediante sensores y wearables
- Plataformas de simulación digital para análisis ergonómico predictivo
- Algoritmos de inteligencia artificial para optimización automática de secuencias

Investigaciones recientes (Dul et al., 2022; IEA, 2023) demuestran que la correcta aplicación de estos principios genera beneficios cuantificables como:

- Reducción del 25-40 % en fatiga laboral
- Incrementos del 15-30 % en productividad
- Disminución del 20-35 % en lesiones musculoesqueléticas

Este análisis aborda tanto los fundamentos teóricos como las implementaciones prácticas contemporáneas, destacando su relevancia en contextos que van desde líneas de manufactura tradicionales hasta entornos de logística 4.0 y trabajos especializados, siempre con el objetivo de armonizar eficiencia operacional con salud laboral.

1.9. Integración de tecnologías en métodos de trabajo

La integración de tecnologías en métodos de trabajo representa un paradigma transformador en la evolución de los sistemas productivos contemporáneos. Este enfoque metodológico fusiona los principios clásicos de la ingeniería de métodos con soluciones tecnológicas emergentes, generando sinergias que redefinen los estándares de eficiencia operacional en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

La convergencia de disciplinas tradicionales con tecnologías disruptivas ha permitido desarrollar:

- Sistemas de monitorización inteligente mediante IoT y sensores avanzados.
- Plataformas de simulación predictiva basadas en gemelos digitales.

- Soluciones de automatización cognitiva que combinan RPA con inteligencia artificial
- Entornos de trabajo aumentados mediante realidad extendida (XR)

Estudios recientes del World Economic Forum (2023) y McKinsey Digital (2023) evidencian que las organizaciones que adoptan esta integración tecnológica sistemática alcanzan:

- Mejoras del 30-50 % en tiempos de ciclo
- Reducciones del 25-40 % en costos operativos
- Incrementos del 20-35 % en calidad de *output*

Este análisis explora los marcos metodológicos para una integración tecnológica efectiva, presentando casos paradigmáticos de implementación exitosa y examinando los desafíos organizacionales que surgen en esta transición hacia los entornos laborales del futuro.

1.10. Mejora continua en procesos operativos

La mejora continua en procesos operativos se ha consolidado como un pilar estratégico para la competitividad organizacional en entornos industriales y de servicios. Basada en los principios del Kaizen y evolucionada mediante metodologías como Lean Six Sigma, este enfoque sistemático busca optimizar de manera progresiva los flujos de valor mediante la identificación y eliminación constante de desperdicios (*muda*).

En la era de la transformación digital, los procesos de mejora continua han incorporado:

- Plataformas de analítica avanzada para monitoreo en tiempo real
- Sistemas de gestión visual digitalizados (Andon electrónicos)
- Tecnologías de automatización inteligente (RPA, IA)
- Metodologías ágiles adaptadas a entornos productivos

Investigaciones recientes del Lean Enterprise Research Centre (2023) y MIT Sloan (2023) demuestran que las organizaciones con programas estructurados de mejora continua logran:

- Incrementos del 18-32 % en productividad anual

- Reducciones del 22-35 % en tiempos de entrega
- Mejoras del 25-40 % en satisfacción del cliente

Este análisis examina los marcos metodológicos contemporáneos, los sistemas de gestión para la sostenibilidad de las mejoras y los casos de éxito documentados, destacando su aplicación transversal desde manufactura hasta servicios profesionales.

Resumen de la unidad 1

El análisis exhaustivo de los componentes fundamentales del Estudio de Métodos revela su transformación de disciplina técnica a sistema integral de gestión operativa. Esta evolución conceptual ha generado un marco metodológico robusto que articula principios científicos clásicos con innovaciones tecnológicas contemporáneas, estableciendo nuevos estándares de eficiencia en el panorama industrial moderno.

Síntesis de hallazgos clave:

1. Fundamentos Científico-Técnicos:

- El análisis de procesos productivos constituye la base diagnóstica para identificar oportunidades de mejora
- Los diagramas de flujo y recorrido proveen herramientas visuales poderosas para modelar y optimizar flujos de valor
- Las técnicas de simplificación del trabajo ofrecen metodologías sistemáticas para eliminar actividades redundantes

2. Precisión en la ejecución operativa:

- El estudio de movimientos mediante Therbligs permite descomponer microactividades con precisión milimétrica
- Los principios de economía de movimientos garantizan la optimización ergonómica de estaciones de trabajo
- La evaluación de eficiencia provee métricas objetivas para la toma de decisiones basada en datos

3. Transformación digital:

- El rediseño de tareas y procesos incorpora paradigmas de Industria 4.0
- La integración de tecnologías avanzadas (IA, IoT, RPA) potencia las capacidades analíticas
- El software especializado permite simulaciones predictivas y análisis en tiempo real

Impacto organizacional demostrado:

Investigaciones recientes (Deloitte, 2023; MIT Operations Research Center, 2023) documentan que la aplicación sistemática de estos componentes genera:

- Incrementos del 25-45 % en productividad laboral

- Reducciones del 30-50 % en tiempos de ciclo
- Mejoras del 20-35 % en indicadores de calidad
- Disminución del 15-25 % en costos operativos

Perspectivas futuras:

La convergencia de estos elementos con tecnologías emergentes como:

- Gemelos digitales para prototipado virtual
- Sistemas cognitivos para análisis automatizado
- Realidad extendida para entrenamiento operativo está redefiniendo los límites de la optimización operacional.

El Estudio de Métodos ha trascendido su concepción original para convertirse en un sistema dinámico de gestión operativa. Su capacidad para integrar el rigor científico con la innovación tecnológica lo posiciona como disciplina indispensable para organizaciones que buscan alcanzar y mantener ventajas competitivas sostenibles en entornos empresariales cada vez más complejos y exigentes.

Esta evolución continua garantiza su relevancia futura, estableciendo un puente metodológico entre las mejores prácticas tradicionales y las exigencias de la transformación digital, configurándose como pilar fundamental para la excelencia operacional en el siglo XXI.

Cuestionario complementario

¿Qué criterios se deben considerar para seleccionar un proceso productivo que requiera análisis y mejora?

¿Cómo puede el análisis de procesos impactar en la competitividad de una organización?

¿En qué situaciones sería más conveniente utilizar un diagrama de flujo en lugar de un diagrama de recorrido?

¿Qué información crítica puede revelar un diagrama de recorrido en un entorno logístico?

¿Cuáles son las principales barreras para implementar técnicas de simplificación en organizaciones con resistencia al cambio?

¿Cómo se puede medir el éxito de una técnica de simplificación aplicada?

¿Por qué los *Therbligs* siguen siendo relevantes en la era de la automatización industrial?

¿Cómo se pueden aplicar los principios de los *Therbligs* en trabajos no manuales (ej: oficina)?

¿Qué factores determinan si un proceso debe ser rediseñado en lugar de optimizado incrementalmente?

¿Qué riesgos organizacionales pueden surgir durante un rediseño radical de procesos?

¿Qué características debe tener un software de análisis de métodos para ser efectivo en entornos industriales complejos?

¿Cómo puede la inteligencia artificial complementar el análisis tradicional de métodos?

¿Qué métricas son esenciales para evaluar la eficiencia de un método de trabajo?

¿Cómo se puede garantizar que la evaluación de eficiencia no afecte la calidad del producto o servicio?

¿De qué manera los principios de economía de movimientos pueden mejorar la seguridad laboral?

¿Cómo se pueden adaptar estos principios a trabajos remotos o híbridos?

¿Qué tecnologías emergentes tienen mayor potencial para revolucionar el estudio de métodos en los próximos 5 años?

¿Cómo balancear la inversión en tecnología con la capacitación del personal para su uso efectivo?

¿Qué estrategias pueden implementarse para mantener una cultura de mejora continua a largo plazo?

¿Cómo vincular los programas de mejora continua con los objetivos estratégicos de la organización?

Actividades complementarias

Actividad #1 – Diagrama de operaciones

Introducción:

El diagrama de operaciones representa una herramienta fundamental en el campo del estudio del trabajo, constituyéndose como instrumento básico para el análisis y mejora de procesos productivos. Esta técnica gráfica, desarrollada dentro del marco de la ingeniería industrial, permite representar sistemáticamente la secuencia cronológica de todas las operaciones e inspecciones que componen un proceso de manufactura o prestación de servicios.

En el contexto del Estudio del Trabajo, el dominio de esta técnica adquiere especial relevancia al proporcionar a los estudiantes:

- Una metodología estructurada para el análisis de procesos.
- Capacidad para identificar actividades que no agregan valor.
- Fundamentos para posteriores estudios de tiempos y movimientos.
- Bases para el diseño y rediseño de sistemas productivos.

La práctica de laboratorio se enfoca en la aplicación de la simbología estándar (ASME) para la elaboración de diagramas de operaciones, considerando:

- La identificación precisa de cada componente del proceso.
- La representación gráfica mediante símbolos normalizados.
- El análisis crítico de la secuencia operativa.
- La propuesta de optimizaciones basadas en la evidencia gráfica.

Investigaciones recientes en el campo de la ingeniería industrial (Montgomery, 2021; Groover, 2022) destacan que la correcta aplicación de esta técnica permite alcanzar mejoras significativas en productividad (15-25 %) y reducción de desperdicios (20-30 %), confirmando su vigencia en entornos de manufactura actuales. Esta práctica busca desarrollar en los estudiantes las competencias necesarias para aplicar estos principios en contextos reales de producción.

Objetivo general:

Aplicar la técnica del diagrama de operaciones para analizar y representar gráficamente un proceso productivo real, identificando oportunidades de mejora mediante la simbología estandarizada ASME.

Objetivos secundarios:

- Identificar y clasificar las actividades de un proceso (operaciones e inspecciones).
- Cuantificar tiempos parciales y totales del proceso.
- Proponer optimizaciones basadas en el análisis del diagrama.
- Desarrollar habilidades para la interpretación crítica de flujos de trabajo.

Descripción de la actividad:

Proceso a analizar: Ensamblaje de un producto simple (ej: lámpara de escritorio, kit de herramientas).

Fases de la práctica:

1. Observación y recolección de datos:

- Cronometrar cada operación.
- Identificar inspecciones.

2. Elaboración del diagrama:

- Utilizar símbolos ASME:

○ Operación

□ Inspección

- Incluir tiempos en cada actividad (operación e inspección).

3. Análisis y propuesta de mejora:

- Desarrollar el Diagrama de Operaciones de la actividad.
- Calcular el tiempo total del proceso.
- Identificar las 3 actividades que consumen más recursos.
- Sugerir cambios (ej.: eliminar inspecciones innecesarias, combinar operaciones), justificando cada uno de ellos y elaborar el diagrama de operaciones con los cambios.

Diagrama de operaciones (actual)

Diagrama de operaciones (sugerido)

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 ptos.)	Adecuado (3 ptos.)	En desarrollo (2 ptos.)	No cumplido (0-1 pto.)
Precisión en recolección de datos	Todos los tiempos están correctamente registrados.	≤ 2 errores en datos.	≥ 3 errores en datos.	Datos incompletos o no registrados.
Correcta aplicación de símbolos ASME	Uso impecable de la simbología.	1-2 errores en símbolos.	≥ 3 errores en símbolos.	Símbolos no utilizados.
Análisis crítico del proceso	Propuestas de mejora viables y bien fundamentadas.	Propuestas genéricas pero aplicables.	Propuestas poco claras.	Sin propuesta de mejora.
Presentación y organización	Diagrama legible, ordenado y con detalles completos.	Diagrama claro, pero con falta de algunos detalles.	Diagrama confuso o incompleto.	Diagrama ilegible o no presentado.

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #2 – Diagrama de flujo de operación

Introducción:

El diagrama de flujo de operación constituye una herramienta fundamental en el análisis de métodos de trabajo, permitiendo representar gráficamente la secuencia de actividades que conforman un proceso productivo o de servicio. Esta técnica, desarrollada dentro del marco teórico del estudio del trabajo, proporciona un lenguaje visual estandarizado para documentar, analizar y mejorar los flujos de operación en diversos contextos industriales.

En el ámbito académico del Estudio del Trabajo, el dominio de esta técnica adquiere especial relevancia por su capacidad para:

- Identificar claramente las operaciones, inspecciones, transportes, demoras y almacenamientos.
- Visualizar las interrelaciones entre los diferentes componentes del proceso.
- Cuantificar tiempos y movimientos involucrados.
- Detectar oportunidades de optimización en los flujos de trabajo.

La presente práctica de laboratorio se enfoca en la aplicación de la simbología ASME (American Society of Mechanical Engineers) para la elaboración de diagramas de flujo de operación, considerando:

- La identificación y clasificación precisa de cada actividad del proceso.
- La representación gráfica mediante símbolos normalizados.
- El análisis cuantitativo de tiempos y distancias.
- La evaluación crítica para proponer mejoras continuas.

Estudios recientes en ingeniería industrial (Niebel, 2021; Groover, 2023) demuestran que la correcta aplicación de esta técnica puede generar reducciones de hasta 25 % en tiempos de ciclo y 20 % en costos operativos, confirmando su vigencia como instrumento de análisis en entornos productivos modernos. Esta práctica busca desarrollar en los estudiantes las competencias necesarias para aplicar estos principios en contextos reales de producción y servicios.

Objetivo general:

Desarrollar competencias para representar gráficamente procesos productivos mediante diagramas de flujo de operación, utilizando simbología estandarizada ASME, que permitan identificar oportunidades de mejora en eficiencia operativa.

Objetivos específicos:

- Aplicar la simbología ASME para clasificar actividades (operaciones, inspecciones, transportes, almacenamientos y demoras).
- Cuantificar tiempos y distancias en un proceso real.
- Analizar críticamente el flujo para detectar actividades redundantes o innecesarias.
- Proponer optimizaciones basadas en evidencia gráfica y métrica.

Descripción de la actividad:

Imagina que trabajas como consultor de mejora continua y una pequeña cafetería te ha pedido optimizar el proceso de preparación de su café americano estándar. Tu tarea es analizar el proceso actual, documentarlo mediante un diagrama de flujo de operaciones y proponer mejoras.

Situación:

1. El actual método de preparación sigue estos pasos:
2. El barista camina al área de almacén (3 metros) para tomar granos de café.
3. Regresa a la máquina moladora (tarda 20 segundos en moler la porción).
4. Inspecciona visualmente la textura del café molido.
5. Lleva el recipiente con café a la cafetera (5 metros).
6. Espera 10 segundos mientras la cafetera completa su ciclo de calentamiento.
7. Coloca el filtro y vierte el café molido.

8. Agrega agua caliente y activa el proceso (tarda 2 minutos).
9. Mientras espera, revisa el reloj constantemente.
10. Finalmente, vierte el café en una taza y lo entrega al cliente.

Tu misión:

1. Clasifica cada paso usando símbolos ANSI/ASME:
 - ○ Operación
 - □ Inspección
 - → Transporte
 - Ⓢ Demora
 - ▽ Almacenamiento
2. Dibuja el diagrama conectando los pasos en secuencia lógica (actual).
3. Identifica oportunidades de mejora (propuesta):
 - ¿Existen transportes o demoras innecesarias?
 - ¿Podría reordenarse el flujo para ahorrar tiempo?
 - Propón al menos un cambio que reduzca el tiempo total del proceso.

Diagrama de flujo de operación (actual):

[illegible]

Diagrama de flujo de operación (propuesta):

[illegible]

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Nivel excelente (4 pts.)	Nivel competente (3 pts.)	Nivel básico (2 pts.)
Precisión técnica	Datos registrados con margen de error $\leq 2\%$. Símbolos ASME aplicados correctamente en 100 %	$\leq 5\%$ de error en datos. 1-2 símbolos mal aplicados	$\geq 10\%$ de error en datos. 3+ símbolos incorrectos
Análisis cuantitativo	Cálculos completos con fórmulas visibles. 3+ métricas adicionales relevantes	Cálculos esenciales correctos. 1-2 métricas extra	Solo cálculos básicos. Sin métricas adicionales
Propuesta de mejora	3 recomendaciones viables con estimación numérica de impacto (ej.: "Reducción del 15 % en...")	2 recomendaciones genéricas sin cuantificación	1 propuesta poco fundamentada
Presentación profesional	Diagrama digitalizado con leyenda completa. Informe estructurado con normas APA	Diagrama manual limpio con todos los elementos. Informe con formato básico	Diagrama desorganizado. Informe incompleto

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #3 – Diagrama de recorrido

Introducción:

El diagrama de recorrido constituye una herramienta fundamental en el análisis de métodos de trabajo, permitiendo representar gráficamente los desplazamientos físicos de materiales, herramientas o personas dentro de un proceso productivo o de servicio. Esta técnica, enmarcada dentro del estudio del trabajo, proporciona una visión espacial del flujo de actividades que complementa los análisis tradicionales de tiempos y movimientos.

En el contexto académico del estudio del trabajo, el diagrama de recorrido adquiere especial relevancia por su capacidad para:

- Visualizar patrones de movimiento en el espacio físico de trabajo.
- Cuantificar distancias recorridas durante las operaciones.
- Identificar cruces y retrocesos en los flujos de materiales.
- Optimizar la disposición física de instalaciones y equipos.
- La presente práctica de laboratorio se enfoca en la aplicación de esta técnica mediante:
 1. El levantamiento preciso de datos espaciales en un entorno controlado.
 2. La representación gráfica a escala de los desplazamientos.
 3. El análisis cuantitativo de las distancias totales recorridas.
 4. La propuesta de redistribuciones físicas para minimizar movimientos innecesarios.

Estudios recientes en ingeniería industrial (Muther, 2022; Tompkins et al., 2023) demuestran que la correcta aplicación del diagrama de recorrido puede generar reducciones de hasta 40 % en distancias de transporte y 25 % en tiempos de ciclo, confirmando su vigencia como instrumento para la mejora continua de procesos. Esta práctica busca desarrollar en los estudiantes competencias para aplicar estos principios en diversos contextos operativos.

Objetivo general:

Analizar y optimizar la distribución física de un área de trabajo mediante la elaboración de diagramas de recorrido que identifiquen y cuantifiquen los movimientos de materiales, herramientas y operarios.

Objetivos específicos:

- Registrar y representar gráficamente los flujos de movimiento en un proceso real.
- Calcular distancias totales recorridas y frecuencia de desplazamientos.
- Identificar patrones ineficientes en la disposición actual del área de trabajo.
- Proponer una redistribución óptima que minimice tiempos y distancias de transporte.

Problema:

Eres el supervisor de logística en Distribuidora Rápida S.A., una empresa que enfrenta retrasos en la preparación de pedidos. El proceso actual de recolección de productos en la bodega muestra ineficiencias en los recorridos de los operarios. Tu tarea es analizar y optimizar este proceso mediante un diagrama de recorrido.

Proceso actual:

El operario Juan sigue esta secuencia para preparar un pedido estándar (1 caja de tornillos, 2 paquetes de arandelas y 3 tubos de pegamento):

1. Parte del área de control (Punto A).
2. Camina 15 metros al estante de tornillos (Zona B).
3. Toma 1 caja de tornillos.
4. Regresa 8 metros al carrito de recolección.
5. Deposita la caja en el carrito.
6. Camina 12 metros al área de arandelas (Zona C).
7. Selecciona 2 paquetes de arandelas.

8. Regresa 12 metros al carrito.
9. Coloca los paquetes.
10. Camina 20 metros a la zona de adhesivos (Zona D).
11. Toma 3 tubos de pegamento.
12. Retorna 20 metros al carrito.
13. Coloca los tubos.
14. Camina 10 metros al área de empaque (Punto E).
15. Entrega el pedido completo.

Instrucciones:

1. Elabora el Diagrama de Recorrido Actual:
 - Dibuja un plano simplificado de la bodega con las zonas mencionadas.
 - Traza con línea roja la ruta actual de Juan.
 - Anota las distancias recorridas en cada tramo.
 - Calcula la distancia total del recorrido.
2. Identifica problemas:
 - Señala los puntos con mayor desplazamiento.
 - Detecta cruces innecesarios.
 - Calcula el tiempo perdido (considera 0.5 m/s como velocidad promedio).
3. Propuesta de mejora:
 - Rediseña la distribución de productos en la bodega.
 - Crea un nuevo diagrama con línea azul mostrando la ruta optimizada.
 - Justifica los cambios propuestos.

Datos adicionales:

- La bodega mide 30m x 20m.
- El carrito puede transportar todos los productos simultáneamente.
- Los pedidos siempre incluyen estos tres tipos de productos.

Entrega esperada:

- Dos diagramas (antes/después) con leyendas claras.
- Cálculos de distancia y tiempo ahorrado.
- Breve explicación de las mejoras propuestas.

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 pts.)	Adecuado (3 pts.)	Limitado (2 pts.)
Precisión en mediciones	Error ≤ 2 % en distancias. Registro completo de 100 % de movimientos	Error ≤ 5 %. 1-2 omisiones en registro	Error > 5 % o ≥ 3 omisiones
Representación gráfica	Diagrama a escala con simbología ASME y leyenda completa	Diagrama claro, pero con 1-2 elementos faltantes	Diagrama desorganizado o incompleto
Análisis de eficiencia	3+ métricas calculadas correctamente. Identificación de 4+ puntos de mejora	2 métricas básicas. 2-3 puntos de mejora	1 métrica. Análisis superficial
Propuesta de redistribución	Diseño optimizado con cálculo de ahorro estimado (> 20 %) y justificación técnica	Redistribución básica con ahorro estimado (10-20 %)	Propuesta genérica sin cuantificación

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Diagrama de operaciones (actual)

Diagrama de operaciones (sugerido)

Actividad #4 – Diagrama bimanual

El diagrama bimanual se erige como una herramienta fundamental en el estudio del trabajo, permitiendo el análisis sistemático de la coordinación entre las extremidades superiores durante la ejecución de tareas manuales. Esta técnica, desarrollada inicialmente por los Gilbreth en el marco de los estudios de movimientos, proporciona una representación gráfica sincronizada que evidencia la interdependencia entre ambas manos en operaciones repetitivas.

Dentro del campo del estudio del trabajo, el diagrama bimanual adquiere especial relevancia por su capacidad para:

- Identificar desequilibrios en la distribución de actividades entre manos.
- Detectar periodos de inactividad en cada extremidad.
- Cuantificar la eficiencia en la coordinación motriz.
- Fundamentar propuestas de redistribución de tareas.

La presente práctica de laboratorio se enfoca en la aplicación de esta técnica mediante:

1. La observación y registro cronometrado de operaciones manuales.
2. La representación gráfica de secuencias mediante simbología estandarizada.
3. El análisis comparativo de cargas de trabajo por extremidad.
4. La formulación de mejoras basadas en principios de economía de movimientos.

Investigaciones recientes en ergonomía ocupacional (Dul y Weerdmeester, 2022; IEA, 2023) demuestran que la correcta aplicación del diagrama bimanual puede generar incrementos de hasta 30 % en productividad y reducciones del 40 % en fatiga muscular, confirmando su vigencia como instrumento para el diseño de estaciones de trabajo eficientes. Esta práctica busca desarrollar en los estudiantes competencias para aplicar estos principios en contextos reales de producción.

Objetivo general:

Analizar la coordinación de movimientos entre ambas manos en operaciones manuales mediante la técnica del diagrama bimanual, para identificar oportunidades de mejora en la distribución de tareas y equilibrio ergonómico.

Objetivos específicos:

- Registrar secuencialmente las actividades realizadas por cada mano en una operación manual.
- Cuantificar tiempos de actividad e inactividad por extremidad.
- Identificar desbalances en la asignación de tareas entre manos.
- Proponer una redistribución equilibrada basada en principios de economía de movimientos.

Problema:

Eres ingeniero de procesos en Fijatec, una PYME que ensambla kits de tornillería para muebles. El operario Luis arma manualmente cada kit (1 base de madera + 4 tornillos + 2 arandelas + 1 llave hexagonal) en una mesa de trabajo. Tras recibir quejas por retrasos, debes analizar su método actual mediante un Diagrama Bimanual y proponer mejoras.

*Proceso actual (observado):**Elementos en la mesa:*

- Bandeja con bases de madera (izquierda).
- Trolva con tornillos (centro).
- Caja con arandelas (derecha).
- Gancho con llaves hexagonales (frente).
- Zona de empaque (al centro).

Secuencia de movimientos (vicio por kit):

1. Mano Izquierda (MI): Toma una base de madera (3 segundos).
 2. Mano Derecha (MD): Espera inactiva (Ⓢ).
 3. MI: Coloca la base en zona de empaque (2 segundos).
 4. MD: Toma 1 tornillo de la tolva (4 segundos).
 5. MI: Sujeta la base para evitar movimiento (Ⓢ 4 segundos).
 6. MD: Inserta el tornillo en el orificio A (3 segundos).
 7. MI: Toma 1 arandela (3 segundos).
 8. MD: Espera mientras MI coloca la arandela (Ⓢ 2 segundos).
 9. MI-MD: Repiten pasos 4-8 para los 3 tornillos restantes.
- MD: Toma la llave hexagonal (2 segundos).
- MI: Sujeta la base (Ⓢ 2 segundos).
- MD: Aprieta los 4 tornillos (8 segundos).
- MI: Coloca el kit terminado en la banda transportadora (3 segundos).

*Instrucciones para el alumno:***A. Diagrama bimanual actual**

1. Dibuja una tabla de dos columnas (MI y MD) con 13 filas (pasos).
2. Registra cada acción usando símbolos:
 - ○ Operación (ej.: “Tomar base”).
 - → Transporte (ej.: “Llevar tornillo”).
 - Ⓢ Demora (ej.: “Mano inactiva”).
 - ▽ Almacenamiento (ej.: “Sostener base”).
3. Incluye tiempos observados (en segundos).

B. Análisis de Ineficiencias

1. Identifica:
 - Desbalance bimanual: ¿Qué mano tiene más tiempos muertos?
 - Movimientos redundantes: ¿Se puede eliminar algún paso de sujeción?
 - Secuencia ilógica: ¿Por qué no se recolectan todos los tornillos primero?

C. Propuesta de Método mejorado

1. Rediseña el proceso para:
 - Equilibrar carga entre ambas manos.

- Preensamblar componentes (ej.,: tener 4 tornillos listos antes de insertar).
- Usar dispensadores automáticos para arandelas.

Diagrama bimanual (actual):

[illegible]

Diagrama bimanual propuesto):

[illegible]

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 pts.)	Adecuado (3 pts.)	Limitado (2 pts.)
Registro de datos	100 % de actividades registradas con error ≤ 2 %	≤ 5 % omisiones con error ≤ 5 %	≥ 10 % omisiones o error > 5 %
Representación gráfica	Diagrama completo con simbología y escala correctas	1-2 errores en símbolos/tiempos	≥ 3 errores o falta de elementos
Análisis cuantitativo	4+ métricas calculadas correctamente	2-3 métricas básicas	Solo 1 métrica
Propuesta de mejora	3+ cambios viables con cálculo de impacto	2 cambios sin cuantificar	1 cambio genérico

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #5 – Diagrama hombre-maquina

Introducción:

El diagrama hombre-máquina representa una herramienta analítica fundamental en el estudio del trabajo, que permite evaluar la interacción temporal entre operarios y equipos en procesos productivos. Esta técnica, derivada de los principios de la ingeniería de métodos, ofrece un marco sistemático para optimizar la asignación de recursos mediante la sincronización de actividades humanas y operaciones mecánicas.

En el contexto académico del estudio del trabajo, este instrumento adquiere relevancia particular por su capacidad para:

- Cuantificar periodos de actividad e inactividad tanto del operador como del equipo.
- Identificar desbalances en la utilización de recursos productivos.
- Fundamentar la asignación óptima de máquinas por operario.
- Reducir tiempos muertos mediante la reestructuración de secuencias.

La presente práctica de laboratorio se estructura en cuatro fases metodológicas:

1. Cronometraje preciso de ciclos operativos completos.
2. Registro gráfico de estados (activo/en espera) mediante simbología estandarizada.
3. Cálculo de indicadores de eficiencia (% utilización).
4. Propuesta de reconfiguraciones que maximicen la productividad del sistema.

Estudios recientes en ingeniería industrial (Groover, 2023; Niebel, 2022) demuestran que la aplicación correcta de esta técnica puede generar mejoras del 25-35 % en productividad y reducciones del 15-25 % en costos operativos, particularmente en procesos semiautomatizados. Esta práctica busca desarrollar competencias para el análisis y optimización de sistemas interactivos hombre-máquina en entornos productivos reales.

- Ciclo total del operador = preparar + hacer + retirar.
- Ciclo total de la máquina = preparar + hacer + retirar.

- Tiempo productivo de la máquina = hacer.
- Tiempo improductivo del operador = espera.
- Tiempo improductivo de la máquina = ocio.

$$\text{Porcentaje de utilización del operador} = \frac{\text{tiempo productivo del operador}}{\text{Tiempo del ciclo total}}$$

Objetivo general:

Analizar la interacción temporal entre operarios y equipos mediante diagramas hombre-máquina, para optimizar la utilización de recursos en procesos semiautomatizados.

Objetivos específicos:

- Registrar los estados simultáneos (activo/en espera) de operarios y máquinas durante ciclos productivos completos.
- Calcular índices de utilización (% actividad) para ambos componentes del sistema.
- Identificar desbalances en la asignación hombre-máquina.
- Proponer reconfiguraciones que maximicen la eficiencia global del sistema.

Problema:

Eres ingeniero de producción en Metalúrgica Rápida S.A., donde el operario Carlos gestiona una fresadora CNC para fabricar piezas en serie. El proceso actual presenta tiempos muertos y subutilización de equipos. Tu tarea es analizar la interacción entre Carlos y la máquina mediante un Diagrama Hombre-Máquina y proponer mejoras.

Proceso actual (ciclo de fabricación de 1 pieza tipo “bujía”):

Equipos y datos clave:

- Fresadora CNC (tiempo automático de mecanizado: 4 minutos).
- Mesa de inspección (a 1.5 metros de la máquina).

- Banda transportadora para piezas terminadas (2 metros).

Secuencia cronometrada:

1. Hombre: Carlos carga materia prima (barra de acero) en la fresadora (0.5 min).
2. Máquina: Ciclo automático de fresado (4 min).
 - Carlos espera de pie junto a la máquina (Ⓢ).
3. Hombre: Retira la pieza terminada (0.3 min).
4. Hombre: Limpia el área de trabajo con aire comprimido (0.7 min).
5. Hombre: Inspecciona medidas críticas con micrómetro (1.5 min).
6. Hombre: Coloca la pieza aprobada en la banda transportadora (0.2 min).

Instrucciones para el alumno:

A. Diagrama hombre-máquina actual

1. Dibuja una línea de tiempo paralela en una tabla:
 - Columna 1: Actividades del operario (Carlos).
 - Columna 2: Estados de la máquina (CNC).
2. Usa símbolos estándar:
 - ○ Operación activa (ej.: “Carga materia prima”).
 - ▽ Espera (Ⓢ para el hombre, ○ inactiva para máquina).
 - → Movimiento.
3. Especifica tiempos exactos para cada segmento.

B. Análisis de ineficiencias

1. Calcula:
 - Tiempo total del ciclo actual (suma de todas las actividades).
 - % Utilización del operario y % utilización de la máquina.
2. Identifica:
 - Tiempos muertos en ambas columnas.
 - Actividades que podrían solaparse (ej.: limpieza durante mecanizado).

C. Propuesta de método mejorado

1. Rediseña el proceso para:
 - Solapar actividades humanas con tiempo automático de la máquina.
 - Reducir desplazamientos (ej.: mover inspección cerca de la banda).
2. Propón y justifica 1 cambio tecnológico (ej: brazo robótico para descarga).

Diagrama de hombre-maquina (actual)

Diagrama de hombre-maquina (sugerido)

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 ptos.)	Competente (3 ptos.)	Básico (2 ptos.)
Precisión cronométrica	Error ≤ 1 % con 5 réplicas	Error ≤ 3 % con 3 réplicas	Error > 5 %
Diagrama	Escala perfecta, 100 % de estados registrados	≤ 2 omisiones	≥ 3 errores
Análisis	5+ métricas calculadas, 3+ puntos de mejora	3 métricas, 2 mejoras	1 métrica
Propuesta	3 optimizaciones con simulación validada	2 sugerencias teóricas	1 idea genérica

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Notas adicionales:

[illegible]

Capítulo 2

Medición del trabajo

Introducción

En el ámbito del Estudio del Trabajo, la Medición del Trabajo se erige como una herramienta fundamental para cuantificar y optimizar el desempeño laboral, estableciendo estándares que equilibren eficiencia operativa y bienestar del trabajador. Este capítulo explora los principios, técnicas y aplicaciones de la medición del trabajo, abordado desde métodos tradicionales como el cronometraje y el muestreo del trabajo, hasta enfoques modernos basados en sistemas de tiempos predefinidos (MTM, MOST).

En un contexto global donde la competitividad exige maximizar la productividad sin sacrificar la calidad, la medición del trabajo proporciona datos objetivos para:

- Determinar tiempos estándar que sirvan como referencia para la planificación.
- Identificar ineficiencias en procesos productivos o de servicios.
- Establecer sistemas de incentivos equitativos basados en desempeño medible.
- Facilitar la mejora continua mediante el análisis de métodos y la redistribución de cargas laborales.

A lo largo del capítulo, se integran ejemplos prácticos de sectores industriales y de servicios, ilustrado cómo la medición del trabajo no solo reduce costos, sino que también contribuye al diseño de puestos ergonómicos y sostenibles. Además, se discutirán los desafíos éticos inherentes a esa disciplina, como el equilibrio entre productividad y salud laboral, y el impacto de la automatización en la reevaluación de estándares.

2.1. Técnicas de cronometraje directo

El cronometraje directo es una técnica fundamental en el Estudio del Trabajo y la Ingeniería de Métodos, utilizada para medir el tiempo requerido por un operario calificado para ejecutar una tarea específica bajo condiciones normales de trabajo. Este método, desarrollado inicialmente por Frederick Taylor como parte de la Administración Científica, sigue

siendo relevante en entornos industriales y de servicios para establecer estándares de producción, evaluar eficiencia y optimizar procesos.

Técnicas de cronometraje directo y sus diferencias

Técnica	Cronometraje Continuo	Cronometraje por Vuelta a Cero	Cronometraje con Elementos Predefinidos (MTM, MOST)
Descripción	Registra el tiempo de todas las actividades sin detener el cronómetro.	El cronómetro se reinicia después de cada elemento medido.	Usa tiempos estándar predefinidos para movimientos básicos.
Ventaja	Mayor precisión al capturar tiempos acumulativos.	Fácil identificación de tiempos por actividad.	Elimina variabilidad humana.
Desventaja	Requiere mayor habilidad para registrar datos.	Puede perder información entre transiciones.	Requiere entrenamiento especializado.

Comparativa de técnicas:

Técnica	Cronometraje Continuo	Cronometraje por Vuelta a Cero	Cronometraje con Elementos Predefinidos (MTM, MOST)
Precisión	Alta	Media	Muy Alta
Facilidad de uso	Media	Alta	Baja
Requerimientos	Operador experto	Cronómetro digital	Certificación

Áreas de aplicación:

- Manufactura: Establecer tiempos estándar en líneas de ensamblaje.
- Logística: Medir eficiencia en *picking* y *packing*.
- Servicios: Evaluar tiempos en atención al cliente o procesos administrativos.
- Construcción: Optimizar secuencias de trabajo en obras.
- Salud: Analizar tiempos en procedimientos médicos.

Beneficios del cronometraje directo:

- Establecimiento de estándares para medición de productividad.
- Identificación de cuellos de botella en procesos operativos.
- Base para incentivos salariales por productividad.
- Mejora en la planificación de recursos humanos y maquinaria.
- Reducción de tiempos muertos y movimientos innecesarios.

Limitaciones y desafíos:

- ⚠ Variabilidad humana: Diferentes ritmos de trabajo entre operarios.
- ⚠ Efecto Hawthorne: Cambio en el comportamiento al ser observado.
- ⚠ Costos iniciales: Capacitación y equipos de medición.
- ⚠ Procesos no repetitivos: Dificultad en aplicar estándares fijos.

El cronometraje directo sigue siendo una herramienta esencial en la ingeniería industrial, aunque su implementación debe considerar factores humanos, tecnológicos y estadísticos. Con la integración de nuevas tecnologías como IoT e IA, su precisión y aplicabilidad se están expandiendo, permitiendo no solo medir, sino también predecir y optimizar tiempos en entornos dinámicos.

2.2. Establecimiento de estándares de tiempo

El establecimiento de estándares de tiempo es un proceso crítico en la Ingeniería Industrial y el Estudio del Trabajo, cuyo objetivo es determinar el tiempo requerido para que un operario calificado ejecute una tarea específica bajo condiciones normales de trabajo. Estos estándares son fundamentales para la planificación de la producción, el control de costos, la evaluación de productividad y el diseño de sistemas de incentivos.

Metodologías para el establecimiento de estándares de tiempo:

Cronometraje directo (<i>Time Study</i>)		
Descripción	Ventajas	Desventajas
Medición directa del tiempo mediante cronómetro.	Alta precisión en procesos repetitivos. Fácil implementación en entornos industriales.	Influencia del efecto <i>Hawthorne</i> . Requiere múltiples mediciones para reducir variabilidad.

Tiempos predeterminados (MTM, MOST)		
Descripción	Ventajas	Desventajas
Uso de tablas de tiempos estandarizados para movimientos básicos.	Elimina la subjetividad del observador. Ideal para procesos aún no implementados.	Requiere capacitación especializada. Menos flexible para tareas no estandarizadas.

Muestreo del trabajo (<i>Work Sampling</i>)		
Descripción	Ventajas	Desventajas
Observaciones aleatorias para estimar porcentajes de actividad.	Eficiente para procesos no repetitivos. Menor costo que el cronometraje continuo.	Menor precisión en tareas de corta duración.

Datos estándar (<i>Standard Data</i>)		
Descripción	Ventajas	Desventajas
Uso de tiempos históricos para tareas similares.	Rápido y económico. Útil en entornos con procesos similares.	No considera variaciones específicas.

Comparativa de métodos:

Método	Precisión	Costo	Aplicación típica
Cronometraje directo	Alta	Medio	Producción en masa.
MTM/MOST	Muy alta	Alto	Diseño de procesos nuevos.
Muestreo del trabajo	Media	Bajo	Servicios, mantenimientos.
Datos estándar	Media-Alta	Bajo	Procesos repetitivos conocidos.

Áreas de aplicación:

- Manufactura: Líneas de ensamblaje, maquinado.
- Logística: *Picking*, almacenamiento, distribución.
- Servicios: Bancos, hospitales, *call centers*.
- Construcción: Tiempos de ejecución de obras.
- Agricultura: Cosecha, empaque.

Beneficios del establecimiento de estándares:

- Mejora en la planificación de producción y mano de obra.
- Base para sistemas de incentivos salariales.
- Identificación de ineficiencias y cuellos de botella.
- Reducción de costos por sobretiempos.
- Sustento para automatización y mejora de procesos.

Limitaciones y desafíos:

- ⚠ Variabilidad humana: Diferencias entre operadores.
- ⚠ Resistencia al cambio: Rechazo de trabajadores a ser cronometrados.
- ⚠ Costos iniciales: Equipos y capacitación.
- ⚠ Procesos dinámicos: Adaptación a cambios en métodos de trabajo.

El establecimiento de estándares de tiempo sigue siendo una piedra angular de la ingeniería industrial, evolucionando desde métodos manuales hacia sistemas digitalizados con IA.

2.3. Muestreo del trabajo (Work Sampling)

El muestreo del trabajo (*Work Sampling*) es una técnica estadística utilizada en el estudio del trabajo para analizar actividades laborales mediante observaciones aleatorias. Desarrollado por L. Tippett en 1935, este método permite estimar el porcentaje de tiempo dedicado a diferentes actividades sin necesidad de mediciones continuas, siendo especialmente útil en procesos no repetitivos o de larga duración.

Fundamentos y metodologías:

El *Work Sampling* se basa en la ley de probabilidades: “El porcentaje de observaciones que registran una actividad específica es una estimación del porcentaje real de tiempo dedicado a esa actividad.”

Pasos para su implementación:

1. Definir el objetivo: ¿Qué actividades se van a medir? (ej.: tiempo productivo vs. improductivo).
2. Determinar el nivel de confianza (95 %) y margen de error (5 %).
3. Calcular el tamaño de muestra con la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{E^2}$$

Donde:

- Z = Valor Z (1.96 para 95 % de confianza).
 - p = Proporción estimada de la actividad.
 - E = Margen de error (ej.: 0.05).
4. Realizar observaciones aleatorias y registrar datos.
 5. Analizar resultados y calcular porcentajes.

Comparación con otras técnicas:

Criterio	<i>Work Sampling</i>	Cronometraje Directo	MTM
Precisión	Media (para % global)	Alta (para tareas específicas)	Muy alta
Costo	Bajo	Medio	Alto
Tiempo	Rápido (muestreo)	Lento (medición continua)	Medio (análisis detallado)
Aplicación	Procesos no repetitivos	Tareas repetitivas	Diseño de procesos

Áreas de aplicación:

- Manufactura: Medir tiempos de espera en líneas semiautomáticas.
- Hospitales: Analizar distribución de tiempo de enfermeras (ej.: 30 % en documentación, 50 % en pacientes).
- Logística: Evaluar eficiencia en almacenes (% de *picking* vs. desplazamientos).
- Oficinas: Estimar tiempo en reuniones vs. trabajo productivo.
- Mantenimiento: Identificar causas de demoras en reparaciones.

Beneficios:

- Económico: No requiere equipos costosos.
- Flexible: Aplicable a procesos diversos.
- No intrusivo: Menor resistencia laboral vs. cronometraje continuo.

- Enfoque estadístico: Resultados confiables con muestras adecuadas.

Limitaciones:

- ⚠ No mide tiempos absolutos, solo proporciones.
- ⚠ Requiere gran número de observaciones para alta precisión.
- ⚠ Sesgo del observador si no es aleatorio.
- ⚠ Ineficaz para tareas muy cortas (< 30 segundos).

El *Work Sampling* es una herramienta versátil y económica para análisis de productividad, especialmente valiosa en entornos no repetitivos. Aunque tiene limitaciones en precisión, su integración con tecnologías digitales está ampliando su aplicabilidad en la Industria 4.0.

2.4. Sistemas de tiempos predeterminados (MTM, MOST).

Los Sistemas de Tiempos Predeterminados (PTS) son metodologías estandarizadas para medir y establecer tiempos de trabajo sin necesidad de cronometraje directo. Entre los más utilizados destacan:

- MTM (Methods-Time Measurement): Desarrollado en 1948 por Maynard, Stegemerten y Schwab.
- MOST (Maynard Operation Sequence Technique): Evolución del MTM creada en 1967 para simplificar aplicaciones industriales.

Estos sistemas descomponen tareas en movimientos básicos (*therbligs*), asignándoles tiempos preestablecidos, permitiendo:

- Diseñar métodos óptimos antes de implementar procesos.
- Eliminar subjetividad en mediciones.
- Establecer estándares internacionales.

Comparaciones entre MTM y MOST:

Parámetro	MTM	MOST
Nivel de detalle	Micro-movimientos (ej.: alcanzar, agarrar)	Macro-actividades (ej.: “mover objeto”)
Tiempo de aplicación	Lento (análisis detallado)	Rápido (secuencias predefinidas)
Precisión	±5%	
Certificación	Requiere entrenamiento avanzado	Curso básico de 40 horas
Costo	Alto (por especialización)	Medio

- MTM: Ideal para diseño de estaciones de ensamblaje en automotriz.
- MOST: Eficiente en logística (picking, empaque).

Áreas de aplicación:

MTM	MOST
Manufactura de precisión (aeroespacial, electrónica).	Producción en masa (líneas de ensamblaje).
Diseño ergonómico de puestos de trabajo.	Almacenes y distribución (Amazon, DHL).
Procesos con alto costo de error (ej.: industria farmacéutica).	Servicios estandarizados (<i>call centers</i>).

Beneficios:

Beneficio	MTM	MOST
Reducción de tiempos	15-25 %	10-20 %
Estandarización	Global (ISO 9001)	Sectorial
Inversión ROI	12-18 meses	6-12 meses

- Empresas como Toyota y Siemens usan MTM-UAS para capacitación.
- MOST reduce un 70 % el tiempo de análisis vs. MTM (García et al., 2023).

Limitaciones:

Limitación	MTM	MOST
Complejidad	Alta (500+ elementos)	Media (24 secuencias básicas)
Flexibilidad	Baja (rígido)	Alta (adaptable)
Coste inicial	USD \$15 000+ (certificación)	USD \$5000+

Problemas comunes:

- Resistencia a cambios en métodos establecidos.
- Dificultad en aplicaciones no industriales.

Los sistemas MTM y MOST siguen siendo el gold standard para establecer tiempos predeterminados, aunque su implementación requiere:

- Selección adecuada según complejidad del proceso.
- Inversión en capacitación.
- Integración con tecnologías 4.0 para maximizar beneficios.

2.5. Análisis de datos históricos de producción

El análisis de datos históricos de producción es una metodología clave en la ingeniería industrial y la gestión de operaciones que permite extraer insights para la toma de decisiones basada en evidencia. Consiste en el procesamiento estadístico de registros pasados (ej.: tiempos de ciclo, defectos, rendimiento de máquinas) para identificar patrones, predecir comportamientos y optimizar procesos.

Según el MIT Sloan Management Review (2023), el 65 % de las empresas manufactureras líderes utilizan análisis históricos para mejorar su productividad.

Metodologías principales y sus diferencias:

Análisis descriptivo

- Objetivo: Resumir datos pasados (medias, máximos, mínimos).
- Herramientas: Excel, Power BI.
- Ejemplo: Cálculo del OEE (Overall Equipment Effectiveness) mensual.

Análisis predictivo

- Objetivo: Forecast de producción mediante modelos estadísticos.
- Herramientas: Python (Pandas, Scikit-learn), Azure Machine Learning.
- Ejemplo: Predecir fallos en máquinas usando regresión.

Análisis prescriptivo

- Objetivo: Recomendar acciones óptimas.
- Herramientas: IBM Decision Optimization, AnyLogic.
- Ejemplo: Planificación óptima de mantenimiento preventivo.

Comparativas:

Tipo	Datos requeridos	Precisión	Costo
Descriptivo	1-2 años históricos	$\pm 10 \%$	Bajo
Predictivo	3-5 años + variables externas	$\pm 5 \%$	Medio
Prescriptivo	Datos en tiempo real	$\pm 2 \%$	Alto

Áreas de aplicación:

- Control de calidad: Detección de causas raíz de defectos (ej.: Six Sigma).
- Mantenimiento: Patrones de falla en equipos (PdM).
- Logística: Optimización de inventarios con demanda histórica.
- Planificación: Ajuste de turnos según estacionalidad.
- Energía: Reducción de consumos basada en tendencias.

Caso real: Toyota reduce un 15 % sus scrap analizando 5 años de datos de inspecciones (Harvard Business Review, 2022).

Beneficios:

- Reducción de costos: Hasta 30 % en desperdicios (según McKinsey).
- Mejora continua: Identificación de cuellos de botella recurrentes.
- Ventaja competitiva: Anticipación a problemas (ej.: falta de materias primas).
- Sostenibilidad: Menor huella de carbono por optimización energética.

Limitaciones:

- ⚠ Calidad de datos: Errores en registros manuales afectan resultados.
- ⚠ Sobrecarga informativa: “Parálisis por análisis” con demasiados datos.

- ⚠ Coste inicial: Plataformas avanzadas requieren inversión.
- ⚠ Resistencia al cambio: Cultura organizacional no *data-driven*.

El análisis de datos históricos de producción se consolida como una herramienta estratégica para la toma de decisiones basada en evidencia en el ámbito industrial. A través del procesamiento sistemático de información pasada, las organizaciones pueden identificar patrones, predecir comportamientos y optimizar sus procesos productivos con mayor precisión.

Esta metodología ofrece beneficios tangibles como la reducción de costos operativos, la mejora en la calidad del producto y el aumento de la eficiencia general. Sin embargo, su implementación efectiva requiere considerar aspectos clave como la calidad de los datos recopilados, la capacitación del personal y la integración con sistemas tecnológicos avanzados.

En la era de la Industria 4.0, el análisis de datos históricos adquiere mayor relevancia al combinarse con tecnologías emergentes como inteligencia artificial y machine learning, permitiendo no solo entender el pasado sino también anticipar escenarios futuros. Las organizaciones que adopten este enfoque de manera sistemática estarán mejor posicionadas para enfrentar los desafíos competitivos del mercado actual.

En esencia, el análisis de datos históricos de producción trasciende su función descriptiva para convertirse en un pilar fundamental de la mejora continua y la innovación en los procesos industriales. Su correcta implementación representa una ventaja competitiva sostenible para cualquier organización orientada a la excelencia operacional.

2.6. Calibración de herramientas de medición

La calibración de instrumentos de medición constituye un pilar fundamental para garantizar la trazabilidad, exactitud y confiabilidad de las mediciones en los procesos industriales y científicos. Sus raíces históricas se remontan a:

- Civilizaciones antiguas (3000 a.C.): Los egipcios utilizaban patrones de longitud basados en el codo real, mientras en Mesopotamia se empleaban pesas estandarizadas de piedra.

- 1791: Durante la Revolución Francesa se establece el Sistema Métrico Decimal, sentando las bases de la metrología moderna.
- 1875: La Convención del Metro crea el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), estableciendo patrones internacionales.
- 2019: Redefinición del Sistema Internacional de Unidades (SI) basado en constantes físicas fundamentales.

En la actualidad, la calibración se rige por estándares como ISO/IEC 17025:2017 y es crítica en sectores que van desde la manufactura hasta la investigación científica.

Tipos de calibración:

a) Por alcance

Tipo	Descripción	Ejemplo
Primaria	Vinculada directamente a patrones nacionales/internacionales	Calibración de bloques patrón con interferómetro láser
Secundaria	Realizada con equipos calibrados contra patrones primarios	Calibración de micrómetros con bloques grado 0
Funcional	Verificación del instrumento en condiciones reales de operación	Prueba de termómetro en baño térmico a diferentes temperaturas

b) Por método

- Directa: Comparación contra estándar de mayor exactitud (ej.: comparador vs bloque patrón).
- Indirecta: Uso de métodos estadísticos o curvas de caracterización.
- In situ: Realizada en el lugar de uso del equipo (ej.: calibración de sensores de presión en planta).

Errores más comunes en calibración:

1. Error de cero: Desviación cuando el instrumento marca cero sin carga (ej.: balanzas analíticas).

2. Error de linealidad: Variación no uniforme en el rango de medición (común en termopares).
3. Histéresis: Diferencias en lecturas al aumentar/disminuir valores (típico en dinamómetros).
4. Deriva temporal: Cambio en las características metrológicas por envejecimiento ($\approx 0.1\%$ /año en sensores de presión).
5. Error ambiental: Influencia de temperatura/humedad no controlada (afecta especialmente instrumentos ópticos).

Herramientas necesarias para calibración:

a) Equipos básicos:

Instrumentos	Aplicación	Exactitud típica
Bloques patrón (Grade 0)	Calibración dimensional	$\pm 0.02 \mu\text{m}$
Multímetro patrón (8.5 dígitos)	Calibración eléctrica	$\pm 0.5 \text{ ppm}$
Horno de calibración	Pruebas térmicas	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
Mesa antivibración	Mediciones precisas	---

b) Equipos especializados:

- Interferómetro láser: Para calibración de longitudes con resolución nanométrica.
- Generador de señales patrón: Verificación de osciloscopios y analizadores.
- Cámara climática: Pruebas bajo condiciones ambientales controladas.

Áreas de aplicación críticas:

- Industria aeroespacial: Calibración de instrumentos de navegación (norma DO-160).
- Farmacéutica: Balanzas analíticas y equipos HPLC (cumpliendo GMP).
- Energía: Medidores de flujo en oleoductos (API MPMS Cap. 5).
- Manufactura: Control dimensional en CNC (ISO 9001:2015).

- Salud: Equipos de diagnóstico por imágenes (IEC 61223).

Beneficios de la calibración:

- Garantía de calidad: Reduce defectos en producción hasta en un 30% (Journal of Quality Technology, 2023).
- Cumplimiento regulatorio: Evita multas en industrias reguladas (FDA, EMA).
- Optimización de costos: Por cada dólar invertido en calibración, se ahorran \$5 en reprocesos (ASQ Metrics Report).
- Interoperabilidad: Permite intercambio confiable de datos entre organizaciones.

Limitaciones y desafíos:

- ⚠ Barrera económica: Equipos de alta exactitud pueden superar los \$250 000.
- ⚠ Disponibilidad: Algunos patrones nacionales tienen listas de espera de meses.
- ⚠ Complejidad técnica: Requiere personal altamente cualificado.
- ⚠ Frecuencia: Instrumentos críticos pueden requerir calibración trimestral.

La calibración metrológica ha evolucionado desde simples comparaciones físicas hasta sistemas complejos basados en constantes fundamentales.

Los beneficios de una calibración adecuada incluyen la reducción de defectos, el cumplimiento regulatorio (como ISO 9001 o FDA) y la optimización de costos al evitar reprocesos y desperdicios. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la inversión inicial en equipos y capacitación, la deriva instrumental y la necesidad de mantenimiento periódico.

Con el avance de tecnologías como IoT, IA y blockchain, el futuro de la calibración apunta hacia sistemas más automatizados, eficientes y con registros inalterables. En definitiva, la calibración no es solo un requi-

sito técnico, sino un pilar fundamental para la calidad, la seguridad y la competitividad en cualquier sector que dependa de mediciones exactas.

Invertir en calibración es invertir en resultados confiables y excelencia operativa.

2.7. Evaluación de la confiabilidad de los estándares

La evaluación de la confiabilidad de estándares es un proceso crítico para garantizar que las normas técnicas cumplan su propósito en la industria, ciencia y regulación. Sus raíces históricas incluyen:

- Antigüedad (3000 a.C.): Primeros estándares en Babilonia (Código de Hammurabi) y Egipto (medidas de granos).
- Revolución Industrial (s. XVIII-XIX): Necesidad de estandarización en manufactura (ej.: sistema Whitworth de roscas, 1841).
- 1901: Creación del National Bureau of Standards (NIST) en EE.UU.
- 1947: Fundación de la ISO (International Organization for Standardization).
- Siglo XXI: Enfoque en estándares digitales y sostenibilidad (ISO 9001:2015, ISO 14000).

Teoría principal: modelos de evaluación de confiabilidad

1. Modelo de Consistencia Interna (Alpha de Cronbach):

- Evalúa coherencia entre ítems de un estándar.
- Fórmula:

$$\alpha = \frac{N * \bar{c}}{\bar{v} + (N - 1) * \bar{c}}$$

Donde: N = número de ítems, $\bar{v}$ = varianza promedio y $\bar{c}$ = covarianza promedio.

2. Teoría de respuesta al ítem (IRT)

- Analiza cómo contribuye cada componente al estándar.
- Usada en normas complejas (ej.: ISO 27001 de seguridad informática).

3. Modelo kappa de Cohen

- Mide concordancia entre evaluadores.
- Clasificación:
Kappa <0.4: Baja confiabilidad
0.4-0.75: Moderada
0.75: Excelente
Principales diferencias entre métodos:

Método	Fortalezas	Debilidades	Aplicación
Alpha de Cronbach	Simple, para normas con ítems similares	No detecta multi-dimensionalidad	Estándares de calidad (ISO 9001)
IRT	Evalúa ítems individualmente	Requiere muestras grandes	Normas técnicas complejas
Kappa de Cohen	Ideal para validar entre expertos	Sensible a distribuciones sesgadas	Certificación de auditorías

Áreas de aplicación:

Manufactura

- Validación de estándares de tolerancia dimensional (ASME Y14.5).
- Ejemplo: Toyota redujo un 20 % de los defectos reevaluando sus estándares internos (SAE, 2023).

Tecnología

- Evaluación de protocolos de ciberseguridad (NIST SP 800-53).
- Confiabilidad de estándares IoT (IEEE 802.15.4).

Salud

- Validación de estándares clínicos (CLSI EP05-A3).
- Dato: El 30 % de errores en laboratorios clínicos se vinculan a estándares no confiables (WHO, 2022).

Beneficios de la evaluación:

- Reducción de riesgos: Disminuye fallos en implementación hasta un 40% (ISO Survey, 2023).
- Interoperabilidad: Garantiza compatibilidad entre sistemas.
- Optimización de costos: Ahorro promedio de \$15 por cada \$1 invertido en evaluación (McKinsey, 2022).
- Cumplimiento regulatorio: Evita sanciones en industrias reguladas.

Limitaciones:

- Subjetividad: En métodos cualitativos (ej: Delphi).
- Costo: Evaluar estándares complejos puede superar \$50 000.
- Tiempo: Procesos como la revisión por pares tardan 6-18 meses.
- Resistencia al cambio: En organizaciones con estándares obsoletos.

Esta evaluación no solo asegura el cumplimiento regulatorio y la interoperabilidad entre sistemas, sino que también reduce costos operativos al minimizar errores y reprocesos. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la subjetividad en métodos cualitativos, los altos costos de validación y la resistencia al cambio en organizaciones con prácticas obsoletas.

En un entorno tecnológico en evolución, la integración de herramientas digitales (IA, blockchain) y enfoques estadísticos robustos será clave para mantener estándares confiables y adaptables. La confiabilidad demostrada de un estándar no solo fortalece la calidad y seguridad de los procesos, sino que también impulsa la innovación y la competitividad en el mercado global.

En resumen, invertir en la evaluación rigurosa de estándares no es solo una buena práctica, sino una necesidad estratégica para cualquier organización comprometida con la excelencia técnica y operativa.

2.8. Ajuste de tiempos por fatiga y demoras

El estudio de los ajustes por fatiga y demoras tiene sus raíces en los trabajos pioneros de Frederick Taylor (1911) y Frank y Lillian Gilbreth

(1920), quienes identificaron que la productividad humana está sujeta a factores fisiológicos y organizacionales. Posteriormente, en 1940, el British Industrial Fatigue Research Board estableció los primeros estándares para compensar la fatiga en entornos industriales.

En la actualidad, normas como la ISO 10075 (Ergonomía y carga mental) y la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) regulan estos ajustes para proteger la salud del trabajador y mantener la eficiencia productiva.

Tipos de ajuste:

1. Fatiga fisiológica:

- Causada por esfuerzo muscular prolongado, posturas inadecuadas o estrés térmico.
- Se compensa con tiempos de descanso (ej.: pausas activas cada 2 horas).

2. Fatiga mental:

- Relacionada con carga cognitiva, monotonía o alta concentración.
- Requiere ajustes en la organización del trabajo (rotación de tareas).

3. Demoras inevitables:

- Interrupciones no controlables (fallos de equipo, espera de materiales).
- Se calculan mediante estudios de muestreo del trabajo.

Métodos de cálculo:

- Sistema de Westinghouse: Aplica porcentajes según esfuerzo físico (5-15 %).
- Método de la Sociedad Británica de Ergonomía: Considera factores ambientales (iluminación, ruido).
- Fórmula de ajuste por fatiga (ILO):

$$T_{ajustado} = T_{normal} \times (1 + F)$$

Donde F= factor de fatiga (0.1-0.3 según actividad).

Áreas de aplicación:

- Manufactura: En líneas de ensamblaje con tareas repetitivas.
- Logística: Para trabajadores de almacén con manipulación de cargas.
- Construcción: En jornadas con exposición a condiciones climáticas extremas.
- Salud: Turnos largos en hospitales (ej.: fatiga en cirujanos).

Caso real: En 2022, Amazon implementó pausas de 10 minutos cada 1.5 horas en sus almacenes, reduciendo lesiones en un 25% (OSHA Report, 2023).

Beneficios:

- Aumento del bienestar laboral (reducción del estrés y lesiones).
- Mejora de productividad hasta en un 20 % (Harvard Business Review, 2022).
- Cumplimiento legal con normas de seguridad (ISO 45001, OIT).

Limitaciones:

- ⚠ Subjetividad: Los factores de fatiga varían entre individuos.
- ⚠ Resistencia al cambio: Trabajadores pueden rechazar nuevos horarios.
- ⚠ Costos iniciales: Equipos de monitoreo y capacitación.

El ajuste de tiempos por fatiga y demoras representa un componente esencial en la gestión científica del trabajo, donde el equilibrio entre la eficiencia productiva y el bienestar del trabajador adquiere relevancia estratégica. La evidencia demuestra que una adecuada política de ajustes temporales no constituye un mero incremento de costos operativos, sino más bien una inversión en sostenibilidad laboral que genera retornos medibles en:

1. Productividad (hasta 20 % de mejora según estudios recientes)
2. Calidad (reducción de errores por fatiga cognitiva)
3. Seguridad (disminución de accidentes laborales)

Los métodos modernos de cálculo, apoyados en tecnologías de monitoreo fisiológico y análisis de datos, permiten implementar estos ajustes con precisión científica, superando el enfoque empírico tradicional. Sin embargo, su efectividad máxima requiere:

- Compromiso organizacional en todos los niveles
- Integración con sistemas de gestión de calidad y seguridad
- Actualización periódica de los parámetros según cambios operativos

En el contexto actual de transformación digital, estos ajustes dejan de ser concebidos como meras tolerancias para convertirse en indicadores clave de desempeño humano, fundamentales para construir organizaciones competitivas y humanamente sostenibles. La implementación rigurosa de estos principios diferencia a las empresas que optimizan recursos de aquellas que simplemente explotan fuerza laboral.

2.9. Comparación de métodos de medición

La evolución de los métodos de medición ha sido fundamental para el desarrollo científico e industrial. Desde las primeras civilizaciones hasta la era digital, destacan hitos clave:

- 3000 a. C.: Sistemas de medida basados en el cuerpo humano (codos, pies) en Egipto y Mesopotamia.
- 1791: Creación del Sistema Métrico Decimal durante la Revolución Francesa.
- 1875: Firma de la Convención del Metro, estableciendo patrones internacionales.
- Siglo XX: Desarrollo de métodos estadísticos (Shewhart, Deming) y digitales.
- 2019: Redefinición del SI basado en constantes físicas universales.

Hoy, la medición precisa es crucial en campos que van desde la nanotecnología hasta la logística global.

Comparativa de métodos clave:

Método	Precisión	Velocidad	Costo*	Aplicación típica
Calibrador Vernier	± 0.05 mm	Baja	\$50-\$200	Talleres mecánicos
Micrómetro láser	± 0.001 mm	Alta	\$5000+	Industria aeroespacial
CMM	± 0.0005 mm	Media	\$50 000+	Automotriz de alta precisión
Escáner 3D	± 0.02 mm	Alta	\$20 000+	Ingeniería inversa
Muestreo estadístico	$\pm 2-5\%$	Alta	\$1000+	Control de calidad masivo

*costos en dólares.

Áreas de aplicación críticas:

Manufactura

- Automotriz: CMM para verificación de motores (± 2 μ m).
- Electrónica: Microscopía óptica para PCB (nanómetros).

Salud

- Imagenología: RMN (resolución submilimétrica).
- Laboratorios: Espectrometría de masas (ppm de exactitud).

Logística

- Almacenes: Sistemas LIDAR para inventarios (± 1 cm).

Caso de éxito: Tesla redujo un 30 % los defectos en piezas críticas al implementar CMM robotizadas (SAE, 2023).

Beneficios de la metrología moderna:

- Reducción de scrap: Hasta 40 % en industria pesada (Journal of Manufacturing, 2023).
- Interoperabilidad: Compatibilidad global (ISO 17025).
- Trazabilidad: Vinculación a patrones internacionales (BIPM).
- Automatización: Integración con Industria 4.0 (IoT + IA).

Limitaciones y desafíos:

- ⚠ Costo de equipos de alta gama (ej.: CMM de 7 ejes >\$500 000).
- ⚠ Curva de aprendizaje en métodos complejos (ej.: interferometría).
- ⚠ Deriva instrumental: Necesidad de calibración frecuente.
- ⚠ Compatibilidad: Integración con legacy systems.

La comparación de métodos de medición revela que no existe un enfoque universalmente superior, sino que la selección óptima depende de un equilibrio entre tres factores clave: precisión requerida, eficiencia operativa y viabilidad económica. Los métodos tradicionales (como mediciones manuales) mantienen su relevancia en aplicaciones básicas, mientras que tecnologías avanzadas (CMM, escáneres 3D) se vuelven indispensables en industrias que demandan exactitud micrométrica.

Los hallazgos destacan que:

1. La automatización de mediciones reduce errores humanos, pero requiere inversión significativa en equipos y capacitación.
2. La trazabilidad metrológica (vinculación a patrones internacionales) es fundamental para garantizar confiabilidad.
3. Las nuevas tecnologías cuánticas y basadas en IA están redefiniendo los límites de precisión alcanzable.

Para las organizaciones, el desafío actual radica en:

- Implementar sistemas escalables que integren métodos convencionales y digitales.
- Desarrollar competencias técnicas en metrología avanzada.
- Mantener actualización tecnológica continua sin desestabilizar operaciones existentes.

En esencia, la selección informada de métodos de medición —basada en análisis de necesidades específicas— se ha convertido en un factor estratégico para la competitividad industrial, la innovación tecnológica y el aseguramiento de calidad en el siglo XXI.

2.10. Automatización en la recolección de datos de tiempo.

La automatización de la recolección de datos de tiempo ha evolucionado desde métodos manuales hasta sistemas inteligentes, marcando hitos clave:

- Siglo XIX: Frederick Taylor y los Gilbreth introdujeron cronometraje manual para estudios de tiempos y movimientos.
- 1950-1970: Surgieron los primeros datálogos electrónicos y sistemas mecánicos de registro.
- 1990: Adopción de lectores de códigos de barras y RFID en manufactura.
- 2010: Revolución con IoT, wearables y visión artificial.
- 2020: Integración con IA y edge computing para análisis en tiempo real.

Hoy, esta automatización es vital en industrias 4.0, donde la precisión y velocidad en la captura de datos determinan la eficiencia operativa.

Métodos de automatización:

Principales diferencias entre métodos:

Áreas de aplicación:

Manufactura:

- Líneas de ensamblaje: Sensores IoT miden tiempos de ciclo en Toyota (± 0.1 seg).
- Robótica: Sincronización de brazos robóticos con visión artificial.

Logística:

- Almacenes: Amazon usa RFID para tracking de picking (99.9% de precisión).

Salud:

- Quirófanos: Wearables registran tiempos de procedimientos (ej: cirugías).

Beneficios:

- Reducción de errores: Elimina sesgos humanos (datos 99.5% confiables).
- Ahorro de tiempo: Hasta 40 % menos vs. métodos manuales (McKinsey, 2023).
- Integración con ERP/SCM: Datos fluyen a sistemas de gestión automáticamente.

Limitaciones:

- ⚠ Interferencias: Señales RFID/UWB en entornos metálicos.
- ⚠ Privacidad: Resistencia de trabajadores a wearables.
- ⚠ Latencia: En sistemas con >10 000 sensores.

La automatización en la recolección de datos de tiempo representa un avance fundamental para la optimización de procesos industriales y operativos. Este enfoque tecnológico supera las limitaciones de los métodos manuales tradicionales, ofreciendo:

1. Mayor precisión: Eliminación de errores humanos con márgenes de exactitud de hasta ± 0.1 %
2. Eficiencia operativa: Reducción de hasta 40 % en tiempo de captura de datos
3. Escalabilidad: Capacidad para monitorear miles de puntos de datos simultáneamente.

Sin embargo, su implementación exitosa requiere considerar:

- La inversión inicial en infraestructura tecnológica
- La capacitación del personal para gestionar sistemas automatizados
- La integración con plataformas existentes de gestión de operaciones

Las tendencias emergentes como IoT avanzado, inteligencia artificial y computación de borde están redefiniendo el potencial de estas soluciones. Las organizaciones que adopten estratégicamente estas tecnologías no solo mejorarán su productividad inmediata, sino que también sentarán las bases para la transformación digital completa de sus operaciones.

En esencia, la automatización de la recolección de datos temporales ha dejado de ser una opción para convertirse en un requisito competitivo en la era de la Industria 4.0, donde los datos precisos y en tiempo real son el fundamento de la toma de decisiones efectivas.

Cuestionario complementario

Defina qué es el cronometraje directo y su objetivo principal.

Liste los 5 pasos esenciales para realizar un estudio de tiempos con cronómetro.

¿Qué es el tiempo observado y cómo se calcula?

Explique la diferencia entre tiempo normal y tiempo estándar.

¿Por qué se aplican tolerancias por fatiga en los estudios de tiempo? Ejemplifique.

Describe tres características que debe tener un estándar de tiempo confiable.

¿Qué es el tiempo ciclo y cómo se relaciona con los estándares de producción?

Calcule el tiempo estándar si: T. observado = 4.5 min, Factor de ritmo = 90 % y Tolerancias = 15 %.

Defina el concepto de *Work Sampling* y su ventaja frente al cronometraje continuo.

Si en 100 observaciones, un operario estuvo activo 75 veces, ¿cuál es el % de utilización?

¿Cómo se determina el tamaño de muestra necesario en un estudio de *Work Sampling*?

Compare MTM-1 y MOST: ¿en qué tipos de procesos se recomienda cada uno?

¿Qué son los *Therbligs* en MTM y cuántos existen? Liste 3 ejemplos.

En MOST, ¿qué significan las siglas en BasicMOST (Movimientos, Operaciones, *Steps*, *Tools*)?

¿Cuándo es apropiado usar datos históricos para establecer estándares?

Mencione dos riesgos de basar estándares únicamente en datos históricos.

¿Por qué es crucial calibrar cronómetros en estudios de tiempo?

Liste tres herramientas digitales para medición de tiempos y su margen de error típico.

Defina confiabilidad en estándares de tiempo y cómo se evalúa estadísticamente.

¿Qué test estadístico usaría para validar la consistencia de múltiples mediciones?

Según la OIT, ¿qué 5 factores influyen en las tolerancias por fatiga?

Calcule el tiempo estándar si: T. normal = 6 min, Tolerancias = 12 %.

Compare cronometraje directo vs. *Work Sampling* en costos y precisión.

¿En qué caso preferiría MTM sobre cronometraje directo?

Actividades complementarias

Actividades:

- Estudio de tiempo con cronómetro (método continuo)
- Estudio de tiempo con cronómetro (método regreso a cero)
- MTM (Método de medición de tiempos)
- Diagrama bimanual
- MOST (Técnica Secuencial de Operación Maynard)

Actividad #6 – Estudio de tiempo con cronómetro (método continuo)

Introducción:

El estudio de tiempos con cronómetro mediante el método continuo constituye una técnica fundamental en el campo del Estudio del Trabajo, permitiendo el análisis cuantitativo de operaciones manuales mediante la medición sistemática de sus componentes. Este método, desarrollado originalmente como parte de los principios de la Administración Científica de Taylor, sigue siendo ampliamente utilizado en la industria moderna para establecer estándares de producción confiables.

En el contexto académico, esta práctica tiene como finalidad principal desarrollar competencias en:

1. La identificación y delimitación precisa de elementos de trabajo
2. La aplicación correcta de técnicas de cronometraje continuo
3. El cálculo de tiempos estándar considerando factores de ritmo y suplementos

Estudios recientes en ingeniería industrial (Niebel, 2021; Barnes, 2022) demuestran que el método continuo ofrece ventajas significativas frente a otras técnicas, particularmente en:

- La captura de tiempos acumulados sin pérdida de información entre elementos.
- La identificación de interferencias y tiempos muertos.

- La obtención de datos más consistentes para análisis estadísticos.

La presente práctica se enfoca en operaciones de ensamblaje manual, donde se aplicarán los principios de medición continua para determinar tiempos representativos que consideren tanto la variabilidad natural del operador como las condiciones normales de trabajo. Los resultados obtenidos servirán como base para posteriores análisis de productividad y mejora de métodos.

Objetivo general:

Aplicar el método continuo de cronometraje para determinar el tiempo estándar de una tarea manual, identificando elementos productivos y no productivos.

Objetivos específicos:

1. Registrar secuencialmente los tiempos de cada elemento del trabajo.
2. Calcular el tiempo normal y estándar aplicando factores de ritmo y suplementos.
3. Identificar oportunidades de mejora en la secuencia de operaciones.

Material: Video de roquelado de Tapas.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=yuucnEPNq3k>

Desarrollo:

Para el desarrollo de la práctica se seguirán los siguientes pasos:

1. Trabajar de manera individual.
2. Determinar donde inicia y termina una operación y realizar una toma de tiempos de, al menos, 10 ciclos (llevar el formato para toma de tiempos).
3. Determinar los suplementos de las operaciones.

Metodo:		Ensamble																	
		Fecha																	
		Máquina																	
		Clave																	
		Operación																	
		Pieza																	
		Código																	
		Departamento																	
		Turno (hrs)																	
		Operario																	
#	Operaciones	CICLOS										Tiempo	Factor de	Normal	Estándar	Piezas por	Piezas por	Horas por	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Nivelacion			hora	torno	100 pzs.	
1	cent.																		
2	cent.																		
3	cent.																		
4	cent.																		
5	cent.																		
6	cent.																		
7	cent.																		
8	cent.																		
9	cent.																		
10	cent.																		
11	cent.																		
Observaciones:												Total en segundos							

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 pts.)	Adecuado (3 pts.)	Limitado (2 pts.)
Registro de tiempos	10 ciclos completos con error $\leq 1\%$ en mediciones	8 ciclos con error $\leq 3\%$	< 6 ciclos o error $> 5\%$
Cálculos	Tiempo normal y estándar calculados correctamente con fórmulas visibles	Cálculos correctos, pero sin mostrar fórmulas	Errores en ≥ 2 cálculos
Análisis de variabilidad	Identifica 3 elementos críticos con propuestas viables	Identifica 2 elementos con propuestas genéricas	Análisis superficial sin propuestas
Presentación	Reporte estructurado con gráficos de dispersión y tabla de resumen profesional	Reporte completo, pero sin gráficos	Reporte incompleto o desorganizado

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #7 – Estudio de tiempo con cronómetro (método regreso a cero)

Introducción:

El estudio de tiempos con cronómetro mediante el método de regreso a cero representa una técnica esencial en el análisis de operaciones dentro del campo del Estudio del Trabajo. Este enfoque metodológico, derivado de los principios de la ingeniería de métodos, permite una medición discreta de elementos de trabajo mediante el reinicio sistemático del cronómetro al finalizar cada componente de la tarea.

En el ámbito académico e industrial, esta práctica adquiere relevancia por su capacidad para:

1. Aislar y analizar elementos individuales de un proceso productivo.
2. Identificar variaciones temporales específicas en cada etapa del trabajo.
3. Facilitar el cálculo de tiempos normales y estándar con mayor precisión.

Investigaciones recientes en ingeniería industrial (Konz, 2022; Mundel y Danner, 2021) destacan que el método de regreso a cero ofrece ventajas particulares cuando:

- Se requiere alta precisión en elementos de corta duración (<30 segundos).
- Existe necesidad de diagnosticar específicamente cuellos de botella
- Se implementan programas de mejora continua basados en datos discretos.

La presente práctica de laboratorio se centra en aplicaciones de ensamblaje mecánico, donde se empleará esta técnica para:

- Registrar tiempos elementales independientes.
- Calcular valores representativos mediante tratamiento estadístico.
- Establecer comparaciones con otros métodos de medición temporal.

Los fundamentos adquiridos en esta sesión proporcionarán las bases para posteriores análisis de productividad y optimización de procesos

en contextos industriales reales, cumpliendo con los estándares internacionales de medición del trabajo.

Objetivo general:

Aplicar el método de regreso a cero para determinar tiempos estándar en operaciones manuales, desarrollando habilidades en la medición y análisis de elementos de trabajo discretos.

Objetivos específicos:

1. Dominar la técnica de cronometraje con reinicio a cero para cada elemento.
2. Calcular tiempos normales aplicando factores de ritmo (escala de Westinghouse).
3. Identificar elementos improductivos mediante análisis de consistencia temporal.

Material: Video de Troquelado de Tapas.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=yuucnEPNq3k>

Desarrollo:

Para el desarrollo de la práctica se seguirán los siguientes pasos:

1. Trabajar de manera individual.
2. Determinar dónde inicia y termina una operación y realizar una toma de tiempos de, al menos, 10 ciclos (llevar el formato para toma de tiempos).
3. Determinar los suplementos de las operaciones.

Formato para toma de tiempos:

Método:		Fecha										Ensamble									
		Máquina										Clave									
		Operación										Pieza									
		Código										Departamento									
		Turno (hrs)										Operario									
#	Operaciones	CICLOS										Tiempo Total	Tiempo Medio	Factor de Nivelación	Tiempo Normal	Tiempo Estándar	Piezas por hora	Piezas por turno	Horas por 100 pzs.		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
1	cent.																				
2	cent.																				
3	cent.																				
4	cent.																				
5	cent.																				
6	cent.																				
7	cent.																				
8	cent.																				
9	cent.																				
10	cent.																				
11	cent.																				
Observaciones:												Total en segundos									

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Nivel avanzado (4 ptos).	Nivel medio (3 ptos).	Nivel básico (2 ptos).
Técnica de medición	10 ciclos completos sin errores de reinicio	≤ 2 errores en reinicio	≥ 3 errores en procedimiento
Cálculos	TN y TS correctos con aplicación precisa de suplementos	TN correcto, pero error en suplementos ($\pm 3\%$)	Errores en ambos cálculos
Análisis estadístico	Uso correcto de test de Chauvenet y gráficos de control	Cálculo básico de media y rango	Solo media calculada
Propuesta de mejora	3 recomendaciones basadas en datos con estimación de impacto	2 sugerencias genéricas	1 propuesta no fundamentada

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #8 – MTM (Método de medición de tiempos)

Introducción:

El Método de Medición de Tiempos (MTM) constituye un sistema avanzado de estudio del trabajo que permite establecer estándares de tiempo predeterminados mediante el análisis de movimientos fundamentales. Desarrollado originalmente por Maynard, Stegemerten y Schwab en 1948, esta técnica ha evolucionado hasta convertirse en un referente internacional para el diseño y mejora de procesos industriales.

En el contexto académico del Estudio del Trabajo, la práctica con MTM proporciona herramientas esenciales para:

1. Descomponer tareas manuales en movimientos básicos normalizados.
2. Asignar valores temporales estandarizados (TMUs) a cada elemento.
3. Calcular tiempos de operación sin necesidad de cronometraje directo.

Estudios comparativos recientes (International MTM Directorate, 2023; Zandin, 2022) demuestran que el sistema MTM ofrece ventajas significativas:

- Precisión de ± 5 % en procesos repetitivos.
- Reducción del 30-40 % en tiempo requerido para estudios de métodos.
- Compatibilidad con sistemas de producción digitalizados.

La presente práctica se enfoca en la aplicación de MTM-1 para analizar operaciones de ensamblaje mecánico, permitiendo a los participantes:

- Identificar y codificar movimientos según la clasificación MTM.
- Utilizar tablas de referencia para determinar tiempos estándar.
- Comparar resultados con mediciones empíricas tradicionales.

Este ejercicio sienta las bases metodológicas para el diseño eficiente de estaciones de trabajo y la optimización de procesos productivos en entornos industriales reales, conforme a los estándares internacionales de ergonomía y eficiencia operativa.

Objetivo general:

Aplicar el sistema MTM-1 para establecer tiempos predeterminados en operaciones manuales mediante el análisis de movimientos básicos.

Objetivos específicos:

1. Identificar y codificar movimientos fundamentales según la clasificación MTM.
2. Calcular tiempos estándar utilizando tablas MTM-1.
3. Comparar resultados con mediciones cronométricas tradicionales.

Desarrollo:

1. Para el desarrollo de la práctica se seguirán los siguientes pasos:
2. Leer el caso práctico e interpretarlo.
3. Identificar los movimientos básicos que intervienen en cada actividad.
4. Realizar la descripción y simbología de cada movimiento en estudio.
5. Establecer los valores en TMU de cada movimiento de acuerdo a las Tablas (anexos).
6. Calcular el tiempo estándar de la operación.

Problema:

Usted es ingeniero de métodos en AutoElectronics Corp., donde la línea de ensamblaje manual del módulo de control ECU-X42 presenta fluctuaciones del 15 % en los tiempos de ciclo. Se requiere un estudio detallado mediante MTM-1 (Motion Time Measurement) para estandarizar el proceso compuesto por 22 operaciones fundamentales.

Pasos:

Preparación de Componentes:

1. Alcanzar (30 cm) hacia la bandeja de PCB principales (R20B).

2. Tomar (G1A) la placa base con agarre preciso (sin ajuste).
3. Mover (M20B) la PCB 60 cm al área de trabajo (resistencia mínima).
4. Posicionar (P1SE) la placa en jig de ensamblaje (± 0.5 mm).

Montaje de componentes:

5. Alcanzar (R10B) al dispensador de condensadores.
6. Tomar (G1B) 4 condensadores SMD simultáneamente (agarre múltiple).
7. Mover (M10C) componentes 40 cm a la PCB (control visual).
8. Posicionar (P3SE) cada condensador en pads (± 0.1 mm).
9. Insertar (RL1) 4 pines de conexión (presión ligera).

Soldadura y control:

10. Alcanzar (R15B) pistola de soldadura (600 g).
11. Aplicar (AP2) soldadura en 8 puntos (2 segundos/punto).
12. Mover (M30B) módulo 1 m al tester funcional.
13. Conectar (P2SE) 3 cables a puertos específicos.

Pruebas de calidad:

14. Presionar (AP1) botón de prueba (1.5 kg de fuerza).
15. Inspeccionar (EF) LEDs de diagnóstico (fijación visual 3 segundos).
16. Ajustar (RL3) potenciómetro si hay error ($\pm 15^\circ$ de giro).

Embalaje final:

17. Colocar (P1NE) módulo en espuma termoformada.
18. Tomar (G5) 4 tornillos de fijación de caja.
19. Mover (M20A) caja 50 cm a zona de sellado.
20. Apretar (AP3) tornillos con atornillador eléctrico (3 segundos/tornillo).
21. Etiquetar (P1SE) con código QR (alineación ± 1 mm).

22. Empujar (M30A) caja terminada a banda transportadora (5 kg de resistencia).

Área de operaciones

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (4 pts).	Competente (3 pts).	Básico (2 pts).
Codificación MTM	100 % de movimientos correctamente clasificados	≤ 2 errores en codificación	≥ 3 errores en símbolos MTM
Cálculo de TMUs	Precisión del 95 % vs estándares internacionales	Precisión del 85-94 %	Precisión <85 %
Análisis comparativo	Gráficos profesionales con desviaciones explicadas	Tabla básica de comparación	Solo datos numéricos sin análisis
Propuesta de mejora	3 optimizaciones con reducción ≥ 15 % en TMUs	2 sugerencias con reducción <15 %	1 propuesta sin cuantificación

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #9 – MOST (Técnica Secuencial de Operación Maynard)

Introducción:

La Técnica Secuencial de Operación Maynard (MOST) es un sistema predeterminado de medición de tiempos ampliamente utilizado en el estudio del trabajo para analizar y mejorar la eficiencia de procesos industriales. A diferencia de métodos tradicionales como el MTM (Medición de Tiempos Métodos), MOST se enfoca en secuencias de movimientos básicos, permitiendo una evaluación más rápida y estandarizada de las operaciones. Esta metodología se clasifica en tres variantes: General MOST, Mini MOST y Maxi MOST, cada una adaptada a diferentes niveles de detalle en las tareas.

En esta práctica de laboratorio, se aplicarán los principios de Basic MOST para cronometrar y optimizar una secuencia de trabajo específica, con el objetivo de familiarizarse con la notación y los parámetros del sistema. Además, se busca demostrar cómo esta técnica reduce la subjetividad en los estudios de tiempos, proporcionando datos confiables para la toma de decisiones en entornos productivos. La actividad permitirá contrastar los resultados empíricos con los valores teóricos, reforzando la comprensión de las ventajas de MOST en la ingeniería de métodos.

MOST básico. Técnica de la medida de trabajo.		
Actividad	Modelo de Secuencia	Subactividades
Mover General	A B G A B P A	A. Acción distancia B. Movimiento del cuerpo G. Obtener Control P. Colocar
Mover Controlado	A B G M X I A	M. Movimiento Controlado X. Tiempo del Proceso I. Alineación
Utilización de Herramientas	A B G A B P A B P A	F. Apretar L. Soltar C. Cortar S. Tratar Superficie M. Medir R. Registrar T. Pensar

El desplazamiento espacial de un objeto ocurre en 3 fases distintas:

Obtener	Poner	Volver
A B G	A B P	A

Objetivo general:

Aplicar la técnica MOST para determinar tiempos predeterminados en operaciones de manipulación de objetos mediante el análisis de secuencias estandarizadas.

Objetivos específicos:

1. Identificar y codificar secuencias básicas de movimientos según la metodología MOST.
2. Calcular tiempos estándar utilizando las fórmulas y tablas MOST.
3. Comparar eficiencias entre métodos tradicionales y el sistema MOST.

Problema:

Eres especialista en métodos de producción en FluidSystems S.A., donde el ensamblaje manual de la bomba modelo HX-900 presenta un tiempo de ciclo 25 % superior al estándar internacional. Se te asigna aplicar MOST Secuencial para analizar y optimizar el proceso completo, que consta de 20 pasos detallados.

Preparación de componentes:

1. Caminar 5 pasos al almacén de partes (3 metros).
2. Tomar el cuerpo principal de la bomba (15 kg, agarre con ambas manos).
3. Transportarlo al banco de trabajo (2 metros, evitar obstáculos).
4. Seleccionar el sello mecánico correcto del organizador (3 opciones).

Montaje mecánico:

5. Alinear el eje rotor con el cuerpo (ajuste fino ± 0.5 mm).
6. Insertar 4 pernos de sujeción M8 (espaciados 90°).
7. Apretar pernos con llave dinamométrica (20 Nm, 2 vueltas cada uno).
8. Colocar junta tórica en ranura (requiere estiramiento manual).

Sistema de impulsión:

9. Acoplar polea al eje (presión manual hasta chasquido audible).
10. Asegurar con chaveta (martillo y punzón, 3 golpes suaves).
11. Instalar cubierta de protección (4 tornillos autorroscantes).

Pruebas y ajustes:

12. Conectar a banco de pruebas hidráulicas (2 mangueras rápidas).
13. Encender sistema y monitorear manómetro (30 segundos).
14. Ajustar tensión de correa si hay vibración (variador ± 5 %).

Acabado y empaque:

15. Limpiar superficies con paño desengrasante.
16. Pintar zonas de seguridad (máscara de 10x10 cm).
17. Fijar placa de especificaciones (2 remaches autoadhesivos).
18. Colocar en caja con espuma protectora (orientación específica).
19. Sellar caja con pistola de grapas (4 esquinas).
20. Registrar lote en sistema ERP (código QR, 5 dígitos).

Determina la cantidad de TMU empleados en dicha actividad

Llena el formato MOST con los datos de los pasos anteriores.

Formato MOST:

HOJA DE REGISTRO MOST .										CÓDIGO:	
										FECHA:	
ÁREA:										HOJA DE	
										ANALISTA	
ACTIVIDAD:											
CONDICIONES:											
No.	Método	No.	Modelo de Secuencia							Fr	TMU
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	A	B	P	A		
			A	B	G	M	X	I	A		
			A	B	G	M	X	I	A		
			A	B	G	M	X	I	A		
			A	B	G	M	X	I	A		

			A	B	G	M	X	I	A			
			A	B	G	M	X	I	A			
			A	B	G	M	X	I	A			
			A	B	G	M	X	I	A			
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
			A	B	G	A	B	P	A	B	P	A
1Hora (TMU / 100000)		Minutos (TMU / 1667)				Segundo (TMU / 27.8)				Tiempo		
Observaciones:												

Rúbrica de evaluación de la actividad

Criterio	Avanzado (4 pts).	Intermedio (3 pts).	Básico (2 pts).
Codificación MOST	Secuencias 100 % correctas con parámetros precisos	≤2 errores en parámetros	≥3 errores en fórmulas
Precisión en cálculos	Diferencias ≤3 % vs estándares MOST	Diferencias 4-7 %	Diferencias >8 %
Análisis comparativo	Gráfico profesional con desviaciones justificadas	Tabla comparativa básica	Datos sin análisis visual
Propuesta de mejora	3 optimizaciones con reducción ≥20 % en TMU	2 sugerencias con reducción <20 %	1 idea sin cuantificar

Escala de calificación:

- 16-14 pts: Sobresaliente
- 13-11 pts: Satisfactorio
- 10-8 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 7 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Notas adicionales:

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Capítulo 3

Productividad laboral

Introducción

En un mundo cada vez más competitivo y globalizado, la productividad laboral se ha consolidado como el pilar fundamental para el crecimiento económico. La rentabilidad empresarial y el desarrollo sostenible. Este capítulo explora los principios, métricas y estrategias que definen y mejoran la productividad en los entornos laborales, abordando tanto perspectivas macroeconómicas. Desde su impacto en el PIB nacional hasta su aplicación práctica en la optimización de una línea de producción, la productividad laboral es un concepto multidimensional que integra eficiencia, innovación y bienestar del trabajador.

La productividad no se limita a producir más en menos tiempo: implica una gestión inteligente de recursos (humanos, tecnológicos y financieros), donde la sinergia entre métodos de trabajo, tecnología y capital humano genera valor agregado. En este sentido, el capítulo analiza:

Definiciones clave: Diferencias entre productividad total, parcial y multifactorial.

Métricas esenciales: Desde horas-hombre por unidad hasta ROI en capacitación.

Factores determinantes: Influencia de la automatización, habilidades blandas y el clima organizacional.

Casos de estudio: Ejemplos de sectores manufactureros y de servicios que han transformado su productividad.

Además, se discuten los desafíos contemporáneos, como la adaptación a la economía digital, el equilibrio entre flexibilidad y control, y el papel de la sostenibilidad en la medición de resultados. Con un enfoque práctico, se presentan herramientas como el benchmarking, la gestión lean y el análisis de datos para tomar decisiones basadas en evidencia.

3.1. Balanceo de líneas

El balanceo de líneas (o balanceo de producción) es una técnica de la Ingeniería Industrial y el Estudio del Trabajo que busca distribuir equitativamente las cargas de trabajo en una línea de producción, minimizando los tiempos ociosos y maximizando la eficiencia. Su objetivo principal es igualar los tiempos de trabajo en cada estación, evitando cuellos de botella y optimizando el flujo de producción.

Orígenes:

El balanceo de líneas surge con la producción en masa y la cadena de montaje, popularizada por Henry Ford en 1913 con el Modelo T.

Aunque Ford aplicó principios de línea de ensamble, el balanceo formal se desarrolló con métodos científicos como los de Frederick W. Taylor (Ingeniería de Métodos) y Frank y Lillian Gilbreth (Estudio de Movimientos).

Personajes clave:

- Henry Ford (1863-1947)
Implementó la primera línea de ensamble móvil, reduciendo el tiempo de producción de un automóvil de 12 horas a 93 minutos.
- Frederick W. Taylor (1856-1915)
Padre de la administración científica, sentó las bases para la medición y estandarización de procesos.
- Frank y Lillian Gilbreth (1868-1924 / 1878-1972)
Desarrollaron estudios de movimientos (*therbligs*) para eliminar desperdicios.
- Charles E. Geary (1940s-1950)
Contribuyó con métodos matemáticos para el balanceo de líneas.

Conceptos clave y formulas necesarias para la resolución de un caso:

- Tiempo de Ciclo (TC): Tiempo máximo asignado a cada estación.

$$TC = \frac{\text{Tiempo Disponible por Turno}}{\text{Demanda Diaria}}$$

- Número Mínimo Teórico de Estaciones (N):

$$N = \left\lceil \frac{\sum \text{Tiempo de Tareas}}{TC} \right\rceil$$

- Eficiencia de la Línea (E):

$$E = \frac{\sum \text{Tiempos de Tareas}}{N \times TC} \times 100\%$$

Diferencias principales entre balanceo de líneas y balanceo de procesos:

Aspecto	Balanceo de Líneas	Balanceo de Procesos
Enfoque	Distribución de tareas en ensamble	Optimización de flujo entre operaciones
Aplicación	Manufactura (ensamble)	Servicios y producción intermitente
Flexibilidad	Baja (secuencia fija)	Alta (rutas variables)

Áreas de aplicación:

- Industria Automotriz (ensamble de vehículos).
- Electrónica (montaje de circuitos).
- Alimentos (empaquete y envasado).
- Textil (confección de prendas).
- Logística (distribución en almacenes).

Principales beneficios de su aplicación:

- Reducción de tiempos muertos (aumento de productividad).
- Menos cuellos de botella (flujo continuo).
- Optimización de recursos (mano de obra y maquinaria).
- Mayor estandarización (menos variabilidad).

Limitaciones en su implementación:

- Rigidez en cambios de diseño (si la línea está muy especializada).
- Altos costos iniciales en reconfiguración.
- Dificultad en procesos manuales con alta variabilidad.

El balanceo de líneas es una herramienta esencial en la gestión de producción, con raíces en la revolución industrial y aplicaciones modernas en Industria 4.0. Su correcta implementación requiere análisis de tiempos, métodos heurísticos y, en casos complejos, herramientas de simulación.

3.2. Indicadores clave de productividad (KPI)

Los Indicadores Clave de Productividad (KPI, por sus siglas en inglés: Key Performance Indicators) son métricas cuantificables utilizadas para evaluar el rendimiento, eficiencia y éxito de procesos, equipos u organizaciones. Su objetivo principal es medir el progreso hacia objetivos estratégicos y facilitar la toma de decisiones basada en datos.

Un KPI es un valor medible que refleja qué tan efectivamente una empresa está logrando sus objetivos críticos. Pueden aplicarse a nivel:

- Operativo (eficiencia en producción).
- Estratégico (rentabilidad, satisfacción del cliente).

Los KPI tienen raíces en la contabilidad de gestión (siglo XIX) y se desarrollaron con la Administración Científica (Taylor, principios del siglo XX). En los años 1950-1960, Peter Drucker popularizó el concepto de gestión por objetivos (MBO), sentando las bases para KPIs modernos.

Existen varios tipos de KPI, entre los que destacan:

- Productividad laboral:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Output (unidades producidas)}}{\text{Input (horas trabajadas)}}$$

- Eficiencia General de Equipos (OEE):

$$OEE = (\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad})$$

- Tasa de defectos:

$$\text{Tasa de Defectos} = \left(\frac{\text{Número de unidades defectuosas}}{\text{Total de unidades producidas}} \right) \times 100$$

- Retorno sobre Inversión (ROI):

$$ROI = \left(\frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Inversión Total}} \right) \times 100$$

Beneficios y limitaciones:

Visibilidad del desempeño en tiempo real.
 Identificación de cuellos de botella.
 Alineación de equipos hacia metas comunes.
 Mejora continua basada en datos.

Sobrecarga de métricas (menos, es más).
 Datos inexactos afectan la confiabilidad.
 Resistencia al cambio cultural.

Los KPIs son herramientas indispensables para la gestión moderna, transformando datos en acciones estratégicas. Su éxito depende de una

selección inteligente (enfocada en objetivos críticos) y una cultura organizacional basada en mejora continua.

3.3. Identificación y eliminación de cuellos de botella

Los cuellos de botella son puntos en un proceso productivo donde el flujo de trabajo se ralentiza o detiene debido a una capacidad insuficiente, generando retrasos, sobrecostos e ineficiencias. Su identificación y eliminación son críticas para optimizar la productividad, reducir tiempos de ciclo y mejorar la rentabilidad.

Un cuello de botella ocurre cuando una etapa del proceso tiene menor capacidad que las demás. También, cuando existe desequilibrio entre demanda y capacidad operativa. El concepto surgió con la producción en masa (Ford, 1910s) y se formalizó con la Teoría de las Restricciones (TOC) de Eliyahu Goldratt (1980).

Se pueden emplear varias técnicas para identificar los cuellos de botella, entre las que destacan el VSM (mapa de flujo de valor), el análisis de capacidad y la Ley de Little (para procesos con colas).

De las posibles soluciones a estos problemas se encuentra el aumento de la capacidad con la inversión en maquinaria adicional o turnos extras, el balanceo de líneas para redistribuir las tareas para igualar las cargas de trabajo y la aplicación de la Teoría de las Restricciones con la creación de inventarios estratégicos antes del cuello de botella.

La gestión de cuellos de botella es esencial para la competitividad, requiriendo un enfoque combinado de análisis cuantitativo (TOC, VSM) y flexibilidad operativa. Su eliminación incrementa la eficiencia global, pero debe abordarse con una visión sistémica para evitar nuevos problemas aguas abajo.

3.4. Técnicas de mejora continua (KAIZEN, Lean)

Las técnicas de mejora continua son metodologías sistemáticas para incrementar la eficiencia, reducir desperdicios y optimizar procesos. Entre las más destacadas se encuentran KAIZEN (enfocado en pequeños cambios graduales) y Lean Manufacturing (orientado a eliminar todo lo que no aporta valor). Ambas buscan la excelencia operativa mediante la

participación de todos los niveles organizacionales.

El KAIZEN (改善, “cambio para mejor”) surgió en Japón posguerra de la Segunda Guerra Mundial, influenciado por los conceptos de Deming y Juran en los años 50. Mientras tanto, el Lean Manufacturing se desarrolló en Toyota bajo el Sistema de Producción Toyota (TPS), creado por Taiichi Ohno en los años 70.

Precursores principales:

1. Taiichi Ohno (1912-1990)
 - Padre del TPS y creador de herramientas como Just-in-Time (JIT) y Kanban.
2. Masaaki Imai (1930-presente)
 - Popularizó el KAIZEN a nivel global con su libro “KAIZEN: The Key to Japan’s Competitive Success” (1986).
3. W. Edwards Deming (1900-1993)
 - Introdujo el Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), base de la mejora continua.
4. Shigeo Shingo (1909-1990)
 - Desarrolló el SMED (Cambio Rápido de Herramientas) y Poka-Yoke (a prueba de errores).

Diferencias entre técnicas:

Aspecto	KAIZEN	Lean Manufacturing
Enfoque	Pequeñas mejoras graduales	Eliminación sistemática de desperdicios
Participación	Todos los empleados	Equipos especializados
Velocidad	Lento pero sostenido	Rápido y radical

Beneficios y limitaciones:

	KAIZEN	Lean Manufacturing
Beneficios	Reducción de desperdicios (sobreproducción, esperas, defectos). Empodera a los empleados (cultura de mejora).	Aumento de productividad (hasta 30-50 %). Mejora la calidad (menos errores).
Limitaciones	Resistencia al cambio cultural. Requiere tiempo para ver resultados (especialmente KAIZEN). Sobreenfoque en herramientas sin visión estratégica.	

Tanto KAIZEN como Lean son metodologías complementarias que, cuando se implementan correctamente, transforman la eficiencia operativa. Mientras KAIZEN fomenta una cultura de mejora constante, Lean proporciona herramientas concretas para eliminar desperdicios. Su éxito depende del compromiso gerencial y la participación activa de los colaboradores.

3.5. Gestión del tiempo y priorización de tareas

La gestión del tiempo y la priorización de tareas son una disciplina esencial para la productividad personal y organizacional. En un mundo con demandas crecientes y recursos limitados, la capacidad de organizar, priorizar y ejecutar tareas de manera eficiente marca la diferencia entre el éxito y el estrés crónico. Este informe explora los fundamentos teóricos, metodologías clave y herramientas prácticas para optimizar el uso del tiempo.

A. Bases conceptuales

1. Principio de Pareto (Regla 80/20)
 - El 80 % de los resultados proviene del 20 % de las tareas (Vilfredo Pareto).
 - Aplicación: Enfocarse en actividades de alto impacto.
 2. Ley de Parkinson
 - “El trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible” (Cyril Northcote Parkinson).
 - Implicación: Establecer plazos ajustados para evitar procrastinación.
 3. Matriz de Eisenhower
 - Clasificación de tareas en:
 - Urgente/Importante (hacer ahora).
 - No urgente/Importante (planificar).
 - Urgente/No importante (delegar).
 - No urgente/No importante (eliminar).
- B. Modelos de priorización
1. Método ABCDE (Brian Tracy)
 - Asignar letras (A: crítico, E: eliminable) a cada tarea.
 2. Técnica Pomodoro (Francesco Cirillo)
 - Trabajar en intervalos de 25 minutos + 5 minutos de descanso.
 3. Time Blocking (Cal Newport)
 - Asignar bloques de tiempo específicos a tareas en el calendario.

La gestión efectiva del tiempo no se trata de hacer más cosas, sino de hacer las cosas correctas. Combinar modelos como Eisenhower, Pomodoro y Time Blocking con herramientas digitales permite crear un sistema personalizado. Sin embargo, el éxito depende de:

- ✓ Autoconocimiento (entender picos de energía).
- ✓ Disciplina (evitar multitasking).
- ✓ Flexibilidad (adaptarse a imprevistos).

La priorización inteligente es un multiplicador de productividad que libera tiempo para lo verdaderamente importante: crecimiento profesional, bienestar y relaciones significativas.

3.6. Benchmarking de productividad

El Benchmarking de Productividad es una metodología sistemática que permite a las organizaciones comparar sus procesos, prácticas y resultados con estándares de excelencia, ya sean internos, competitivos o de mejores prácticas globales. Su objetivo principal es identificar brechas de desempeño, adoptar innovaciones y mejorar la eficiencia operativa.

Según el American Productivity & Quality Center (APQC), el benchmarking es “el proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas contra los competidores más duros o aquellas compañías reconocidas como líderes industriales”.

A. Tipos de benchmarking

1. Interno:

- Comparación entre departamentos o unidades de la misma organización.
- Ejemplo: Sucursales bancarias comparando tiempos de atención al cliente.

2. Competitivo:

- Análisis directo contra competidores clave.
- Ejemplo: Fabricantes de automóviles midiendo defectos por millón de unidades (DPMO).

3. Funcional/genérico:

- Estudio de mejores prácticas en industrias distintas, pero con procesos similares.
- Ejemplo: Hospitales adoptando sistemas de inventario *just-in-time* de la manufactura.

B. Modelos de referencia

1. Modelo de las 5 fases (Robert Camp):

- Planificación → Recopilación de datos → Análisis → Adaptación → Implementación.

2. Ciclo PDCA (Deming):

- Integrado en benchmarking para mejora continua.

El benchmarking de productividad no es un ejercicio puntual, sino un proceso estratégico continuo que requiere:

- ✓ Enfoque en métricas relevantes (alineadas a la estrategia corporativa).
- ✓ Cultura organizacional abierta al aprendizaje externo.
- ✓ Compromiso de la alta dirección para implementar cambios.

Según un estudio de Bain & Company (2023), las empresas que aplican benchmarking sistemáticamente logran mejoras de 15-30 % en productividad. Sin embargo, su éxito depende de la capacidad de traducir los hallazgos en acciones concretas y no solo en datos comparativos.

3.7. Análisis de causas de baja productividad

El análisis de causas de baja productividad es un proceso sistemático para identificar, evaluar y resolver los factores que limitan la eficiencia operativa en una organización. En un entorno empresarial cada vez más competitivo, comprender las raíces de la baja productividad se ha convertido en una necesidad estratégica para mantener la rentabilidad y la ventaja competitiva.

Según datos del Bureau of Labor Statistics (2023), las empresas que implementan metodologías estructuradas para analizar y corregir problemas de productividad logran incrementos promedio del 23% en su output por hora trabajada.

Marco conceptual

1. Teoría de restricciones (Goldratt, 1984):
 - Los sistemas tienen al menos un factor limitante que determina su productividad global
 - Fórmula clave: $\text{productividad global} = f(\text{restricción principal})$
2. Modelo de gestión por procesos:
 - La productividad se ve afectada por inputs, procesos y outputs
 - Ecuación básica: $\text{Productividad} = \text{Outputs} / \text{Inputs}$
3. Enfoque de sistemas:
 - Interrelación entre factores humanos, tecnológicos y organizacionales

Metodologías de análisis

1. Diagrama de Ishikawa (espina de pescado):
 - Clasifica causas en 6 categorías: métodos, mano de obra, materiales, maquinaria, medio ambiente, medición.
2. Análisis de los 5 Porqués:
 - Técnica iterativa para llegar a la causa raíz.
3. Método DMAIC (Six Sigma):
 - Definir, medir, analizar, mejorar, controlar.

Principales causas de baja productividad

1. Factores humanos:
 - Falta de capacitación (30 % de los casos según OIT)
 - Baja motivación y engagement
 - Ausentismo laboral
2. Factores tecnológicos:
 - Equipos obsoletos (19 % impacto en manufactura)
 - Falta de automatización
 - Sistemas ERP inadecuados
3. Factores organizacionales:
 - Mala planificación de producción
 - Comunicación ineficiente
 - Exceso de burocracia
4. Factores externos:
 - Problemas en cadena de suministro
 - Regulaciones excesivas
 - Condiciones económicas

Técnicas de medición

1. Indicadores clave:
 - OEE (Overall Equipment Effectiveness)
 - Takt time vs Cycle time
 - Valor agregado vs. No agregado

2. Herramientas de Diagnóstico:

- Mapas de flujo de valor
- Muestreo del trabajo
- Diagramas de Gantt comparativos

El análisis de causas de baja productividad requiere un enfoque multidimensional que combine:

1. Métodos cuantitativos (medición precisa)
2. Enfoques cualitativos (entrevistas, observación)
3. Tecnología adecuada (analítica de datos)

Las organizaciones que implementan sistemas continuos de monitoreo y mejora de productividad logran:

- ✓ Reducciones de hasta 40 % en costos operativos.
- ✓ Incrementos del 15-25 % en capacidad instalada.
- ✓ Mejoras sustanciales en calidad y satisfacción del cliente.

El verdadero reto no es solo identificar las causas, sino crear una cultura organizacional que fomente la mejora continua y la innovación en procesos.

Cuestionario complementario

Defina qué es el balanceo de líneas y su objetivo principal.

Mencione al menos tres métodos para balancear una línea de producción.

Calcule el tiempo de ciclo (TC) si la demanda diaria es de 500 unidades y el tiempo disponible por turno es de 8 horas (28 800 segundos).

Explique la diferencia entre *takt time* y tiempo de ciclo.

¿Qué es un KPI? Dé dos ejemplos en el área de manufactura y dos en servicios.

Calcule la eficiencia general de equipos (OEE) si:

Disponibilidad = 90 %

Rendimiento = 85 %

Calidad = 95 %

¿Por qué es importante alinear los KPI con los objetivos estratégicos de una empresa?

Defina qué es un cuello de botella en un proceso productivo.

Mencione tres técnicas para identificar cuellos de botella.

Según la Teoría de las Restricciones (TOC), ¿cuál es el primer paso para gestionar un cuello de botella?

Explique en qué consiste la metodología KAIZEN y su diferencia con Lean Manufacturing.

Mencione las 5S y su importancia en la productividad.

¿Qué herramienta Lean se utiliza para reducir tiempos de cambio de producción?

Defina *benchmarking* y mencione sus tres tipos principales.

¿Qué es un análisis de brechas (*gap analysis*) y cómo se calcula?

Mencione dos riesgos al implementar benchmarking sin una estrategia clara.

Actividades Complementarias

- Balanceo de líneas.
- Cálculo de Indicadores de Productividad (KPI)

Actividad #10 – Ejercicio #1 - Balanceo de líneas

Introducción:

El balanceo de líneas es una técnica fundamental en la ingeniería industrial que busca optimizar la distribución del trabajo en procesos secuenciales, con el objetivo de equilibrar las cargas de producción, minimizar tiempos muertos y maximizar la eficiencia global. Esta metodología es esencial en entornos de manufactura y servicios donde se requiere un flujo continuo y sincronizado para cumplir con la demanda esperada sin desperdicios.

En la práctica, el balanceo de líneas permite:

- Reducir cuellos de botella al redistribuir tareas entre estaciones de trabajo.
- Aumentar la productividad al asignar tiempos equitativos a cada operación.
- Mejorar la eficiencia al acercarse al Takt Time (ritmo de producción necesario para satisfacer la demanda del cliente).
- Optimizar recursos humanos y técnicos, evitando sobrecargas en algunas estaciones y subutilización en otras.

Objetivo general:

Analizar y redistribuir las tareas de una línea de ensamble manual para optimizar su eficiencia mediante técnicas de balanceo de líneas, aplicando principios de estudio del trabajo.

Objetivos específicos:

1. Determinar el tiempo de ciclo actual y el takt time requerido para cumplir una demanda específica.
2. Identificar cuellos de botella y calcular la eficiencia de la línea antes y después del balanceo.
3. Proponer una redistribución de tareas que minimice tiempos muertos y maximice la utilización de recursos.

Desarrollo:

1. Diagnóstico del problema:
 - Calcule el tiempo de ciclo actual y la producción diaria máxima.
 - Identifique la estación cuello de botella y el % de eficiencia de la línea.
2. Rediseño del balanceo:
 - Proponga una nueva distribución de tareas (combinar, dividir o reasignar).
 - Determine el número óptimo de operarios por estación para alcanzar la meta de 120 unidades/día.
 - Use un diagrama de precedencias (ver imagen adjunta) para respetar secuencias lógicas.
3. Cálculos clave:
 - Takt time requerido para cumplir la demanda.
 - Eficiencia propuesta vs. eficiencia actual.
 - Costo laboral estimado (salario: \$15/hora por operario).

Problema:

Eres el ingeniero de procesos de BiciKids, una fábrica que produce bicicletas infantiles modelo “Explorer”. La línea de ensamble actual presenta desequilibrios críticos: mientras la estación de montaje de ruedas opera al 100 %, la de ajuste de frenos solo utiliza el 60 % de su capacidad. Esto genera cuellos de botella, acumulación de WIP (trabajo en proceso) y retrasos en la entrega. El gerente te ha solicitado rediseñar el balanceo de la línea para alcanzar una producción diaria de 120 unidades (8 horas

laborales), minimizando tiempos muertos y manteniendo estándares de calidad.

Datos del proceso actual (6 estaciones desbalanceadas):

Estación	Tarea	Tiempo (segundos)	# Operarios
1	Montar cuadro y soporte	90	2
2	Instalar ruedas y ejes	120	1
3	Ajustar frenos y cables	72	1
4	Colocar sillín y manubrio	60	1
5	Inspección y ajustes finales	108	1
6	Empaque y etiquetado	48	1

Área de operaciones

Propuesta de solución:

[illegible]

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (5 ptos.)	Satisfactorio (4-3 ptos.)	Por mejorar (2-0 ptos.)
Precisión en mediciones	Tiempos registrados con ± 2 % de error	Tiempos con ± 5 % de error	Errores >5 % o datos incompletos
Análisis de eficiencia	Cálculos correctos y justificación detallada	Cálculos con errores menores	Omisión de fórmulas o indicadores
Propuesta de balanceo	Redistribución óptima (eficiencia >85 %)	Solución funcional (75-84 %)	Propuesta no viable (<75 %)
Presentación oral	Exposición clara con soporte visual	Exposición básica	Dificultad para comunicar resultados

Escala de calificación:

- 20-17 pts: Sobresaliente
- 16-13 pts: Satisfactorio
- 12-9 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 8 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #10 – Ejercicio #2 - Balanceo de líneas

Desarrollo:

1. Diagnóstico inicial:
 - Calcule el tiempo de ciclo actual y la producción máxima.
 - Identifique las estaciones cuello de botella (justifique con datos).
2. Rediseño propuesto:
 - Redistribuya tareas para lograr el takt time requerido (150 kits/hora).
 - Optimice el uso de operarios (meta: ≤ 5 personas en total).
 - Respete precedencias y restricciones de calidad.
3. Herramientas obligatorias:
 - Diagrama de precedencias (indicar pasos críticos).
 - Cálculo de eficiencia (%):
 - $$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempos de tarea}}{N^{\circ} \text{ operarios} \times \text{Tiempo de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempos de tarea} \times 100}{N^{\circ} \text{ operarios} \times \text{Tiempo de ciclo}}$$
4. Entregables:
 - Tabla comparativa (antes/después) con asignación de personal.
 - Gráfico de Gantt del nuevo flujo.
 - Memoria técnica con justificación de cambios.

Problema:

Usted es el ingeniero de procesos de SalvaVidas S.A., empresa que fabrica kits de primeros auxilios básicos. La línea de ensamble actual presenta un desbalance crítico: la estación de empaque opera al 45 % de capacidad, mientras la de inserción de insumos trabaja al 120 %, generando acumulación de WIP (trabajo en proceso). Se requiere rebalancear la línea para alcanzar una producción de 150 kits/hora, cumpliendo estándares de calidad y ergonomía.

Proceso actual (20 pasos desbalanceados)

Preparación de componentes:

1. Recepción y verificación de bandejas plásticas (base del kit).
2. Toma de 1 guante de látex del dispensador (2 segundos/par).
3. Colocación de 2 apósitos adhesivos de 10x10 cm.
4. Inserción de 1 venda elástica (15 cm) en bolsa sellada.

Ensamblado principal:

5. Montaje de 1 mascarilla quirúrgica (doblado específico).
6. Inserción de 5 toallas antisépticas (conteo manual).
7. Colocación de 1 termómetro digital (ajuste en ranura).
8. Verificación de batería del termómetro (test automático).

Subensambles:

9. Armado de botiquín con 2 compartimentos.
10. Sellado de 3 bolsas con cierre hermético.
11. Pegado de etiqueta de instrucciones (alineación ± 2 mm).

Control de calidad:

12. Inspección visual de componentes faltantes (5 segundos/kit).
13. Prueba de fuerza en cierres (3 kg de presión).
14. Medición de peso total (rango: 450 ± 10 gramos).

Empaque final:

15. Aplicación de código QR (posición frontal).
16. Cerrado con cinta adhesiva (2 tiras de 15 cm).
17. Apilado en cajas de cartón (12 kits/caja).
18. Etiquetado de lote y fecha.

19. Paletizado (20 cajas/paleta).
20. Registro en sistema ERP.

Datos del proceso actual:

Estación	Tarea (pasos)	Tiempo actual (segundos)	# Operarios
1	1-4	55	2
2	5-8	82	1
3	9-11	38	1
4	12-14	64	1
5	15-20	120	3

Restricciones:

- Secuencia fija: Pasos 1 → 8 deben preceder a 9 → 20.
- Paso 14 requiere báscula certificada (solo 2 disponibles).
- No se permite combinar pasos 6 y 12 (contaminación cruzada).

Área de operaciones

Propuesta de solución:

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (5 ptos.)	Satisfactorio (4-3 ptos.)	Por mejorar (2-0 ptos.)
Precisión en mediciones	Tiempos registrados con ± 2 % de error	Tiempos con ± 5 % de error	Errores > 5 % o datos incompletos
Análisis de eficiencia	Cálculos correctos y justificación detallada	Cálculos con errores menores	Omisión de fórmulas o indicadores
Propuesta de balanceo	Redistribución óptima (eficiencia > 85 %)	Solución funcional (75-84 %)	Propuesta no viable (< 75 %)
Presentación oral	Exposición clara con soporte visual	Exposición básica	Dificultad para comunicar resultados

Escala de calificación:

- 20-17 pts: Sobresaliente
- 16-13 pts: Satisfactorio
- 12-9 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 8 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Actividad #11 – Cálculo de indicadores de productividad (KPI)

Introducción

En el ámbito del Estudio del Trabajo, los Indicadores Clave de Productividad (KPI) son herramientas fundamentales para cuantificar el desempeño de procesos, identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones basadas en datos. Esta práctica permite a los estudiantes aplicar metodologías estandarizadas para medir y analizar KPIs en un entorno controlado, vinculando conceptos teóricos con situaciones reales de producción y servicios. Mediante el uso de técnicas de medición y análisis, se busca desarrollar competencias para evaluar críticamente la eficiencia de sistemas productivos.

Objetivo general:

Analizar y calcular indicadores clave de productividad (KPI) en un proceso simulado de ensamble, aplicando técnicas de Estudio del Trabajo para evaluar su eficiencia y proponer mejoras.

Objetivos específicos:

- Medir tiempos de ciclo, producción real y capacidad teórica en una estación de trabajo.
- Calcular KPIs clásicos: Eficiencia global (OEE), productividad laboral y takt time.
- Identificar causas raíz de pérdidas de productividad (tiempos muertos, errores, desbalanceo).
- Proponer acciones correctivas basadas en el análisis de datos recolectados.

Desarrollo:

1. Calcule los siguientes KPI para ambos períodos:

- Eficiencia global (OEE):

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

(Donde: Disponibilidad = Tiempo operativo / Tiempo disponible; Rendimiento = (Unidades reales $\times$ T. estándar) / T. operativo; Calidad = Unidades buenas / Unidades totales).

- Productividad laboral:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Unidades buenas}}{\text{Horas} - \text{Hombre trabajadas}}$$

- Costo unitario de producción:

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costo total (mano de obra + materiales)}}{\text{Unidades buenas}}$$

*(Asuma costo de materiales: \$15/unidad) *.

- Tasa de defectos:

$$\text{Tasa de Defectos} = \frac{\text{Unidades defectuosas}}{\text{Unidades totales}} \times 100$$

2. Análisis comparativo:

- Identifique tendencias críticas (ej.: aumento de inactividad, caída en calidad).
- Relacione los KPI entre sí (ej.: cómo afecta la tasa de defectos al OEE).

3. Propuesta de mejora:

- Basado en los resultados, sugiera 3 acciones concretas (ej.: mantenimiento preventivo para reducir inactividad, capacitación en control de calidad).
- Estime el impacto esperado en los KPI para el próximo mes (ej.: reducir defectos a 2 %).

Problema:

Usted es el líder de mejora continua de Muebles Durable S.A., empresa que fabrica estantes modulares de melamina. La gerencia reporta una caída del 12 % en la productividad mensual de la línea “Modelo Flex”, pese a mantener los mismos recursos. Su misión es diagnosticar el problema mediante el cálculo de KPIs clave y proponer un plan de acción basado en datos.

Datos operativos:

Indicador	Mes anterior	Mes actual
Horas máquina disponibles	720 h	720 h
Unidades producidas	1800	1584
Tiempo de ciclo estándar	22 min/unidad	24 min/unidad
Tiempo de inactividad	45 h	180 h
Productos defectuosos	36	95
Costo de mano de obra	\$9000	\$9500

Área de operaciones

Propuesta de solución:

Rúbrica de evaluación de la actividad:

Criterio	Excelente (5 ptos.)	Satisfactorio (4-3 ptos.)	Por mejorar (2-0 ptos.)
Precisión en datos	Mediciones con ± 2 % de error	Mediciones con ± 5 % de error	Datos inconsistentes
Cálculo de KPI	Fórmulas correctas y resultados justificados	Errores menores en cálculos	Omisión de indicadores clave
Análisis crítico	Identifica 3+ causas raíz con soluciones viables	Analiza 1-2 causas	Descripción superficial
Presentación	Informe estructurado con gráficos profesionales	Informe básico	Falta de claridad

Escala de calificación:

- 20-17 pts: Sobresaliente
- 16-13 pts: Satisfactorio
- 12-9 pts: Mínimo aceptable
- ≤ 8 pts: No aprobado

Puntos obtenidos:

Anexos

Datos MTM suplementarios

Tabla I – Posicionar – P

Clase de Ajuste CLAR	Caso de Simetría	Alinear Únicamente	Profundidad de Inserción (cm)				
			0	1	2	3	4
			> 0 ≤ 0,5	> 0,5 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3,5	> 3,5 ≤ 4,5
21 381-889 cm	S	3,0	3,4	6,4	7,2	8,1	9,0
	SS	3,0	10,3	13,3	14,1	15,0	15,9
	NS	4,8	15,5	18,5	19,3	20,2	21,1
22 064-380 cm	S	7,2	7,2	11,7	12,6	13,4	14,3
	SS	8,0	14,9	19,4	20,3	21,1	22,0
	NS	9,5	20,2	24,7	25,6	26,4	27,3
23* 013-063 cm	S	9,5	9,5	15,8	17,6	19,5	21,4
	SS	10,4	17,3	23,6	25,4	27,3	29,2
	NS	12,2	22,9	29,2	31,0	32,9	34,8
*Atorones. Agregar el número observado de "Aplicar presión". Dificultad de manejo. Agregar el número observado de G2							
*Determinar la simetría por las propiedades geométricas. Excepción: Usar caso "S" cuando haya orientación previa al mover precedente.							

Tabla II – Encaje secundario – E2

Clase de Ajuste	Profundidad de Inserción (cm)			
	1	2	3	4
21	3,0	3,8	4,7	5,6
22	4,5	5,4	6,2	7,1
23	6,3	8,1	10,0	11,9

Tabla III – Manivela (Resistencia ligera) – C

Diámetro de Manivela (cm)	TMU (T) Por Revolución	Diámetro de Manivela (cm)	TMU (T) Por Revolución
2	8,2	22	13,9
4	9,2	24	14,2
6	10,0	26	14,5
8	10,7	28	14,8
10	11,3	30	15,0
12	11,9	35	15,5
14	12,4	40	16,0
16	12,8	45	16,4
18	13,2	50	16,7
20	13,6		
Formulas A. Manivela continua (empezar al principio y parar al final del ciclo únicamente) $TMU = ((NT) + 5,2) * F + C$ B. Manivela intermitente (empezar al principio y parar al final de cada revolución) $TMU = (T + 5,2) * F + C$			
C = Componente estático en TMU de la concesión por peso de la tabla MOVER. F = Componente dinámico, factor de la concesión por peso de la tabla MOVER. N = Número de revoluciones. T = TMU por revolución (movimiento tipo III). 5,2 = TMU para empezar y parar.			

Tabla IV – Alcanzar – R

Distancia Alcanzada cm	Tiempo en TMU				Mano en Movimiento		Caso y Descripción
	A	B	C o D	E	A	B	
2 o menos	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6	A. Alcanzar a un objeto en situación fija, o a un objeto en la otra mano o sobre el cual descansa la otra mano.
4	3,4	3,4	5,1	3,2	3,0	2,4	
6	4,5	4,5	6,5	4,4	3,9	3,1	
8	5,5	5,5	7,5	5,5	4,6	3,7	
10	6,1	6,3	8,4	6,8	4,9	4,3	
12	6,4	7,4	9,1	7,4	5,2	4,8	B. Alcanzar a un solo objeto en situación que puede variar ligeramente de un ciclo al siguiente.
14	6,8	8,2	9,7	7,8	5,5	5,4	
16	7,1	8,8	10,3	8,2	5,8	5,9	
18	7,5	9,4	10,8	8,7	6,1	6,5	
20	7,8	10,0	11,4	9,2	6,5	7,1	
22	8,1	10,5	11,9	9,7	6,8	7,7	C. Alcanzar a un objeto amontonado con otros en un grupo, de forma que ocurra buscar y seleccionar.
24	8,5	11,1	12,5	10,2	7,1	8,2	
26	8,8	11,7	13,0	10,7	7,4	8,8	
28	9,2	12,2	13,6	11,2	7,7	9,4	
30	9,5	12,8	14,1	11,7	8,0	9,9	
35	10,4	14,2	15,5	12,9	8,8	11,4	D. Alcanzar a un objeto muy pequeño o en donde es necesario coger con mucha precisión.
40	11,3	15,6	16,8	14,1	9,6	12,8	
45	12,1	17,0	18,2	15,3	10,4	14,2	
50	13,0	18,4	19,6	16,5	11,2	15,7	
55	13,9	19,8	20,9	17,8	12,0	17,1	
60	14,7	21,2	22,3	19,0	12,8	18,5	E. Alcanzar a una situación indefinida para poner la mano en posición de equilibrar el cuerpo o dispuesta para realizar el próximo movimiento, o donde no estorbe.
65	15,6	22,6	23,6	20,2	13,5	19,9	
70	16,5	24,1	25,0	21,4	14,3	21,4	
75	17,3	25,5	26,4	22,6	15,1	22,8	
80	18,2	26,9	27,7	23,9	15,9	24,2	
Adicional	0,18	0,28	0,26	0,26			TMU por cm arriba de 80 cm

Tabla V – Mover – M

Distancia Movida cm	Tiempo en TMU				Concesión por Peso			Caso y Descripción
	A	B	C	Mano en Movimiento B	Peso (kg) Hasta	Factor Dinámico	Estático TMU Constante	
2 o menos	2,0	2,0	2,0	1,7	1	1,00	0	A. Mover el objeto a la otra mano o contra un tope.
4	3,1	4,0	4,5	2,8				
6	4,1	5,0	5,8	3,1				
8	5,1	5,9	6,9	3,7	2	1,04	1,6	
10	6,0	6,8	7,9	4,3				
12	6,9	7,7	8,8	4,9				
14	7,7	8,5	9,8	5,4	4	1,07	2,8	
16	8,3	9,2	10,5	6,0				
18	9,0	9,8	11,1	6,5				
20	9,6	10,5	11,7	7,1	6	1,12	4,3	
22	10,2	11,2	12,4	7,6				
24	10,8	11,8	13,0	8,2				
26	11,5	12,3	13,7	8,7	8	1,17	5,8	
28	12,1	12,8	14,4	9,3				
30	12,7	13,3	15,1	9,8				
35	14,3	14,5	16,8	11,2	10	1,22	7,3	
40	15,8	15,6	18,5	12,6				
45	17,4	16,8	20,1	14,0				
50	19,0	18,0	21,8	15,4	12	1,27	8,8	
55	20,5	19,2	23,5	16,8				
60	22,1	20,4	25,2	18,2				
65	23,6	21,6	26,9	19,5	14	1,32	10,4	
70	25,2	22,8	28,6	20,9				
75	26,7	24,0	30,3	22,3				
80	28,3	25,2	32,0	23,7	16	1,36	11,9	
Adicional	0,32	0,24	0,34					
TMU por cm arriba de 80 cm								
					18	1,41	13,4	
					20	1,46	14,9	
					22	1,51	16,4	

Tabla VI – Coger

Tipo de Coger	Caso	Tiempo TMU	Descripción	
Levantado	1A	2,0	Objeto de cualquier tamaño sólo que se puede coger fácilmente.	
	1B	3,5	Objeto muy pequeño o que yace próximo sobre una superficie plana.	
	1C1	7,3	Diámetro mayor de 12mm	Interferencia con el coger en el fondo y a un lado de un objeto casi cilíndrico.
	1C2	8,7	Diámetro entre 6 y 12 mm	
	1C3	10,8	Diámetro menor de 6 mm	
Volver a Coger	2	5,6	Cambiar la forma de coger un objeto sin perder el control.	
Transferencia	3	5,6	Transferir el control de una mano a otra.	
Selección	4A	7,3	Mayor de 25x25x25 mm	Objeto amontonado con otros de forma que ocurra buscar y seleccionar.
	4B	9,1	Entre 6x6x3 mm y 25x25x25 mm	
	4C	12,9	Menor de 6x6x3 mm	
Contacto	5	0,0	Coger de contacto de deslizamiento o de gancho	
Peso Neto Efectivo				
Peso Neto Efectivo (ENW)		Núm. De Manos	Espacial	Deslizando
		1	W	W x Fc
		2	W/2	W/2 x Fc
W = Peso en kg Fc = Coeficiente de fricción				

Tabla VII – Girar – T

Peso	Tiempo TMU para Grados Girados										
	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
Pequeño S - 0 a 1 kg	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4
Mediano M - 1 a 5 kg	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,0	10,6	11,6	13,7	13,7	14,8
Grande L - 5 a 16 kg	8,4	10,5	12,3	14,4	16,2	18,3	20,4	22,2	26,1	26,1	28,2

Tabla VIII – Aplicar Presión – AP

Ciclo Completo			Componentes		
Símbolo	TMU	Descripción	Símbolo	TMU	Descripción
APA	10,6	AF + DM + RLF	AF	34	Aplicar Fuerza
APB	16,2	APA + G2	DM	42	Mantener Fuerza Mínima
			RLF	30	Soltar Fuerza

Tabla IX – Posicionar* – P

Clase de Ajuste		Símbolo	Manejo Fácil E	Manejo Difícil D
1. Flojo	No se requiere presión.	S	5,6	11,2
		SS	9,1	14,7
		NS	10,4	16,0
2. Aproximado	Se requiere ligera presión.	S	16,2	21,8
		SS	19,7	25,3
		NS	21,0	26,6
3. Exacto	Se requiere presión fuerte.	S	43,0	48,6
		SS	46,5	52,1
		NS	47,8	53,4
Regla suplementaria para alineaciones de superficie*				
P2SE por alineación: > 1,5mm ≤ 6 mm		P2SE por alineación ≤ 1,5 mm		
*Longitud de inserción: 2,5 cm o menos				

Tabla X – Soltar – RL

Caso	Tiempo TMU	Descripción
1	2,0	Soltar normal, ejecutando al separar los dedos como movimiento independiente.
2	0	Cesar el contacto

Tabla XI – Desmontar – D

Caso de Ajuste	Longitud del Retroceso	Manejo Fácil E	Manejo Difícil D
1. Suelto. Esfuerzo muy pequeño, se une al movimiento siguiente.	Hasta 2,5 cm	4,0	5,7
2. Flojo. Esfuerzo normal, retroceso ligero.	Más de 2,5 cm hasta 12,5 cm	7,5	11,8
3. Duro. Esfuerzo considerable, la mano tiene marcado retroceso.	Más de 12,5 cm hasta 30,5 cm	22,9	34,7

Suplementario		
Clase de Ajuste	Cuidado con el Manejo	Atorones
1. Suelto	Conceder clase 2	–
2. Flojo	Conceder clase 3	Un G2 por cada Atorón
3. Duro	Cambiar Método	Un APG por cada Atorón

Tabla XII – Recorrido y enfoque ocular – ET y EF

Tiempo de recorrido ocular = $15,2 \times TD$ TMU, con un valor máximo de 20 TMU en donde T = Distancia entre los puntos de recorrido ocular. D = Distancia perpendicular desde el ojo a la línea de recorrido T. Tiempo de enfoque ocular = 7,3 TMU
Información Suplementaria
Área de visión normal = Un círculo de 10 cm de diámetro a 40 cm de los ojos. Fórmula de lectura 5,05 de N. En donde N = Número de palabras.

Therblings:

Therblings Efectivos		
Implica un avance directo en el proceso de trabajo. Puede acortarse, pero es difícil eliminarlos.		
Therbling	Símbolo	Descripción
Alcanzar	AL	Movimiento con la mano vacía desde y hacia el objeto; el tiempo depende de la distancia; en general precede a soltar y va seguido de tomar.
Mover	M	Movimiento con la mano llena; el tiempo depende de la distancia, el peso y el tipo de movimiento; en general precedida por tomar y seguida de soltar o posicionar.
Tomar	T	Cerrar los dedos alrededor de un objeto; iniciar cuando los dedos hacen contacto con el objeto y termina cuando se logra el control; depende del tipo de tomar; en general precedido por alcanzar y seguido por mover.
Soltar	S	Dejar el control de un objeto; por lo común es el Therbling más corto.
Preposicionar	PP	Posicionar un objeto en un lugar predeterminado para su uso posterior; casi siempre ocurre junto con mover, como al orientar una pluma para escribir.
Usar	U	Manipular una herramienta al usarla para lo que fue hecha; se detecta con facilidad al hacer que avance el trabajo.
Ensamblar	E	Unir dos partes que van juntas; suele ir precedido por posicionar o mover, y seguido por soltar.
Desensamblar	DE	Opuesto al ensamble, separación de partes que están juntas; en general precedido de posicionar o mover; seguido de soltar.
Therblings No Efectivos		
No avanza el progreso del trabajo. Deben eliminarse cuando sea posible.		
Therbling	Símbolo	Descripción
Buscar	B	Ojos o manos que deben encontrar un objeto; inicia cuando los ojos se mueven para localizar un objeto.
Seleccionar	SE	Elegir un artículo entre varios; por lo común sigue a buscar.
Posicionar	P	Orientar un objeto durante el trabajo; en general precedido de mover y seguido de soltar (en contraste a <i>durante</i> para preposicionar).
Inspeccionar	I	Comparar un objeto con un estándar, casi siempre con la vista, pero también puede ser con otros sentidos.
Planear	PL	Hacer una pausa para determinar la siguiente acción; en general se detecta como una duda antes del movimiento.
Retraso Inevitable	RI	Más allá del control del operario debido a la naturaleza de la operación, por ejemplo, la mano izquierda espera mientras la derecha termina un alcance más lejano.
Retraso Evitable	RE	Sólo el operario es responsable del tiempo ocioso, como al toser.
Descanso	D	Aparece en forma periódica, no en todos los ciclos, depende de la carga del trabajo físico.
Sostener	SO	Una mano detiene un objeto mientras la otra realiza un trabajo provechoso.

Modelo de secuencia de la técnica MOST:

Valor	ABGABPA		Mover General		Valor
	A	B	G	P	
	Acción Distancia	Movimiento del Cuerpo	Obtener Control	Lugar	
0	2 pulgadas			Sostener Arrojar	0
1	Dentro del alcance		Objeto ligero. Objetos ligeros simultáneos.	Poner a un lado. Holgado.	1
3	1-2 Pasos	Flexionarse y Levantarse 50% del caso.	No simultáneos. Pesados y voluminosos. Oculto y obstruido. Saltar. Ensamblar. Juntar.	Ajustes. Presión ligera. Doble.	3
6	3-4 Pasos	Flexionarse y Levantarse.		Cuidado y precisión. Presión fuerte. Oculto u obstruido. Movimientos intermedios.	6
10	5-7 Pasos	Sentarse o Levantarse			10
16	8-10 Pasos	A través de la puerta. Subir o bajar rampas.			16

Glosario:

- Actividad: Cualquier acción realizada por un operario, máquina o proceso.
- Almacenamiento (∇): Pausa planificada donde un material espera (símbolo en diagramas).
- ANSI/ASME: Estándares para símbolos en diagramas de procesos.
- Automatización: Uso de tecnología para realizar tareas sin intervención humana.
- Balanceo de línea: Distribuir tareas equitativamente entre estaciones de trabajo.
- Benchmarks: Proceso de comparar métricas, procesos o prácticas de una organización con los mejores estándares de la industria (competidores líderes o referentes).
- Bottleneck (cuello de botella): Punto que limita la capacidad de un proceso.
- Checklist: Lista de verificación sistemática usada para asegurar que todos los pasos críticos de un proceso se completen sin omisiones.
- Ciclo de trabajo: Tiempo total para completar una secuencia repetitiva.
- Cronómetro: Herramienta para medir tiempos en estudios de trabajo.
- Demora ($\textcircled{D}$): Tiempo de espera no planificado (símbolo en diagramas).
- Diagrama bimanual: Gráfico que registra actividades simultáneas de ambas manos.
- Diagrama de flujo: Representación gráfica de pasos en un proceso.
- Diagrama Hombre-Máquina: Muestra interacciones entre operario y equipo.
- Diagrama de operaciones: Secuencia de pasos para fabricar un producto.
- Diagrama de recorrido: Trayectoria de personas/materiales en un espacio.
- Diagramación: Representación gráfica de un proceso o sistema mediante símbolos estandarizados (ej.: flujogramas, diagramas de Pareto).
- Eficacia: Grado en que se logran los objetivos deseados (“hacer las cosas correctas”).
- Eficiencia: Uso óptimo de recursos (tiempo, costo, esfuerzo) para lograr un resultado (“hacer las cosas correctamente”).
- Ergonomía: Adaptar el trabajo al trabajador para reducir fatiga.
- Flowcharts: Diagrama que representa un proceso mediante símbolos conectados por flechas, mostrando secuencias y decisiones.

Layout: Distribución física de instalaciones, equipos y áreas de trabajo para optimizar flujos de producción o servicios.

Picking: Proceso de selección y preparación de pedidos en almacenes, crítico en logística.

Productividad: Relación entre outputs (bienes/servicios) e inputs (recursos) en un sistema productivo.

Reingeniería: Rediseño radical de procesos para lograr mejoras dramáticas en rendimiento.

RPA: Uso de “bots” de software para automatizar tareas repetitivas basadas en reglas.

Takt time: Ritmo de producción para satisfacer demanda.

Tiempo estándar: Tiempo calificado para realizar una tarea.

Utilización: Porcentaje de tiempo que un recurso está activo.

VSM: Herramienta Lean para mapear flujos de materiales e información, identificando desperdicios.

Work sampling: Muestreo de actividades para análisis.

Zona de Trabajo: Área óptima para alcance de herramientas.

Bibliografía

- Barnes, R. M. (2018). *Estudio de Movimientos y Tiempos* (9ª ed.). Limusa Wiley. Clásico en métodos de trabajo.
- Barnes, R. M. (2018). *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work* (10ª ed.). Wiley. Incluye adaptaciones digitales de Therbligs.
- Camp, R. (1989). *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance*. ASQC Quality Press.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2022). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2ª ed.). Springer.
- Drucker, P. F. (1967). *The Effective Executive*. Harper & Row.
- Dul, J., & Weerdmeester, B. (2022). *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide* (4ª ed.). CRC Press.
- Frazelle, E. (2016). *Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management*. McGraw-Hill.
- Gawande, A. (2009). *The Checklist Manifesto: How to Get Things Right*. Metropolitan Books.
- Gilbreth, F. & Gilbreth, L. (1917). *Applied Motion Study*. Routledge. *Obra fundacional con casos de construcción y manufactura*.
- Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (5ª ed.). Pearson. Sección sobre diseño de células de trabajo.
- Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (5ª ed.). Pearson. Sección sobre diseño de layouts y flujos de material.
- Hammer, M. & Champy, J. (1993). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. HarperBusiness.
- Heizer, J., & Render, B. (2016). *Dirección de la Producción y de Operaciones*. Prentice Hall.
- International Ergonomics Association (IEA). (2023). *Global Ergonomics Standards and Guidelines*. IEA Press.
- ISO 5807:1985. Information processing — Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts.

- Juran, J. M. & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Konz, S. & Johnson, S. (2019). Therbligs aplicados a ergonomía. *Work Design: Industrial Ergonomics* (7ª ed.). Holcomb Hathaway.
- Koontz, H. & Weihrich, H. (2008). *Essentials of Management* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Lean Enterprise Research Centre (LERC). (2023). *Continuous Improvement in the Digital Age*. Cardiff University Press.
- McKinsey Digital. (2023). *The State of Digital Transformation in Operations*. McKinsey & Company.
- MIT Sloan Management Review. (2023). *Agile and Lean Practices for Operational Excellence*. MIT Press.
- Muther, R. (2015). Systematic Layout Planning (4ª ed.). CBI Publishing. Metodología clásica para diagramas de recorrido.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2014). Análisis de procesos con diagramas de flujo. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (12ª ed.). McGraw-Hill.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2014). Análisis de operaciones hombre-máquina. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (12ª ed.). McGraw-Hill. OECD (2001). *Measuring Productivity: Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth*.
- Ohno, T. (2019). *Sistema de Producción Toyota* (Ed. Revisada). McGraw-Hill. Origen de técnicas Lean.
- Rother, M. & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4ª ed.). Wiley. Incluye metodologías para optimizar interacciones humano-máquina.
- Shingo, S. (2020). *Zero Quality Control: Poka-Yoke*. Productivity Press. Guía definitiva sobre Poka-Yoke.
- Willcocks, L. et al. (2017). *Robotic Process Automation: The Next Transformation Lever for Shared Services*. LSE Research.
- World Economic Forum. (2023). *The Future of Jobs Report 2023*. WEF.

Fundamentos del Estudio del Trabajo: Métodos y Aplicaciones.

Se terminó de editar en noviembre de 2025

en los talleres de Astra Ediciones

Av. Acueducto No. 829

Colonia Santa Margarita, C. P. 45140

Zapopan, Jalisco, México.

33 38 34 82 36

E-mail: edicion@astraeditorial.com.mx

www.astraeditorialshop.com

En este libro, Fundamentos del estudio del trabajo: métodos y aplicaciones, se presenta un análisis riguroso y sistemático de los principios teóricos y metodológicos que sustentan esta área, junto con casos prácticos y aplicaciones reales que ilustran su relevancia en diversos sectores industriales y de servicios.

ISBN: 979-13-87837-83-9



9 791387 837839



Consulta y descarga



**astra
editorial**