

Ingeniería Industrial

MÉTODOS, ESTÁNDARES
Y DISEÑO DEL TRABAJO

11ª Edición

Niebel • Freivalds

CONTIENE
CD



 Alfaomega

CONTENIDO ABREVIADO

Prefacio	xv
1 Métodos estándares y diseño del trabajo: introducción	1
2 Técnicas para la solución de problemas	21
3 Análisis de la operación	71
4 Diseño del trabajo manual	127
5 Diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas	181
6 Diseño del entorno de trabajo	233
7 Diseño del trabajo cognitivo	287
8 Implantación del método propuesto	333
9 Estudio de tiempos	373
10 Calificación del desempeño	409
11 Suplementos	431
12 Datos y fórmulas de estándares	457
13 Sistemas de tiempos predeterminados	483
14 Muestreo del trabajo	525
15 Estándares de mano de obra indirecta y general	555
16 Seguimiento y uso de estándares	585
17 Pago de salarios	613
18 Capacitación y otras prácticas administrativas	639
Apéndice 1: Glosario	672
Apéndice 2: Fórmulas útiles	691
Apéndice 3: Tablas especiales	695
Apéndice 4: Norma militar MIL-STD-1567A	715
Índice	719





Prefacio xv

Capítulo 1

Métodos estándares y diseño del trabajo: introducción 1

Importancia de la productividad	1
Alcance de los métodos y los estándares	4
Desarrollos históricos	9
Resumen	16
Preguntas	18
Referencias	19
Sitios en Internet	20

Capítulo 2

Técnicas para la solución de problemas 21

Técnicas de exploración	23
Técnicas de registro y análisis	30
Relaciones cuantitativas entre herramientas, trabajador y máquina	42
Resumen	64
Preguntas	65
Problemas	66
Referencias	69
Software seleccionado	70

Capítulo 3

Análisis de la operación 71

Nueve enfoques principales del análisis de la operación	72
1. Propósito de la operación	73
2. Diseño de partes	76
3. Tolerancias y especificaciones	79

4. Material 82

5. Secuencia y procesos de manufactura 87

6. Preparaciones y herramientas 94

7. Manejo de materiales 100

8. Distribución de planta 110

9. Diseño del trabajo 119

Resumen 119

Preguntas 122

Problemas 123

Referencias 125

Software seleccionado 126

Videocintas seleccionadas 126

Capítulo 4

Diseño del trabajo manual 127

Sistema óseomuscular 128

Principios de diseño del trabajo: capacidades humanas y economía de movimientos 130

Estudio de movimientos 148

Trabajo manual y guía de diseño 153

Resumen 175

Preguntas 176

Problemas 177

Referencias 178

Software seleccionado 180

Sitios en Internet 180

Capítulo 5

Diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas 181

Antropometría y diseño 181

Principios de diseño del trabajo: el lugar de trabajo 187

Principios de diseño del trabajo: máquinas y equipo	198
Desórdenes por trauma acumulado	206
Principios de diseño del trabajo: herramientas	212
Resumen	226
Preguntas	226
Problemas	227
Referencias	230
Software seleccionado	232
Sitios en Internet	232

Capítulo 6

Diseño del entorno de trabajo 233

Iluminación	234
Ruido	242
Temperatura	250
Ventilación	255
Vibración	258
Radiación	261
Trabajo por turnos y horarios de trabajo	261
Seguridad	268
Administración de la seguridad en el trabajo y la salud (OSHA)	273
Programa de ergonomía de OSHA	277
Resumen	280
Preguntas	281
Problemas	283
Referencias	284
Software seleccionado	285
Sitios en Internet	285

Capítulo 7

Diseño del trabajo cognitivo 287

Teoría de la información	288
Modelo de procesamiento de información humano	289
Codificación de información: principios generales de diseño	306
Pantalla de información visual: principios de diseño específicos	311

Pantalla de información auditiva: principios de diseño específicos	316
Interacción persona-computadora: consideraciones de hardware	317
Interacción persona-computadora: consideraciones de software	322
Resumen	324
Preguntas	324
Problemas	326
Referencias	330
Software seleccionado	332
Sitios en Internet	332

Capítulo 8

Implantación del método propuesto 333

Herramientas de toma de decisiones	334
Presentación del método propuesto	348
Implantación	349
Análisis de puestos	352
Evaluación de puestos	353
Ley para discapacitados en Estados Unidos	363
Seguimiento	364
Implantación exitosa de métodos	365
Resumen	367
Preguntas	367
Problemas	368
Referencias	369
Software seleccionado	371

Capítulo 9

Estudio de tiempos 373

Un día de trabajo justo	374
Requerimientos del estudio de tiempos	375
Equipo para el estudio de tiempos	377
Elementos del estudio de tiempos	383
Inicio del estudio	386
Ejecución del estudio	394
Calificación del desempeño del operario	394
Cálculos del estudio	395
Tiempo estándar	397

Resumen	403
Preguntas	404
Problemas	405
Referencias	407
Software seleccionado	407
Videocintas seleccionadas	408

Capítulo 10**Calificación del desempeño 409**

Desempeño estándar	410
Características de calificaciones razonables	411
Métodos para calificar	413
Aplicación de la calificación	420
Análisis de calificaciones	420
Capacitación para calificar	422
Resumen	427
Preguntas	427
Problemas	428
Referencias	428
Software seleccionado	429
Videocintas seleccionadas	429

Capítulo 11**Suplementos 431**

Usos de los suplementos	431
Suplementos constantes	434
Suplementos por fatiga variable	435
Suplementos especiales	447
Aplicaciones de los suplementos	451
Resumen	452
Preguntas	452
Problemas	453
Referencias	454

Capítulo 12**Datos y fórmulas de estándares 457**

Desarrollo de datos de tiempo estándar	458
Desarrollo de fórmulas a partir de datos empíricos	462

Fórmulas analíticas	468
Uso de datos de estándares	473
Resumen	478
Preguntas	479
Problemas	480
Referencias	482
Software seleccionado	482

Capítulo 13**Sistemas de tiempos predeterminados 483**

Métodos de medición de tiempo (MTM)	485
Técnica secuencial de operación Maynard (MOST— <i>Maynard Operation Sequence Technique</i>)	508
Aplicación de tiempos predeterminados	514
Resumen	518
Preguntas	520
Problemas	521
Referencias	523
Software seleccionado	523

Capítulo 14**Muestreo del trabajo 525**

Teoría de muestreo del trabajo	526
Aceptación del muestreo del trabajo	531
Planes de estudios de muestreo del trabajo	532
Registro de observaciones y datos	540
Utilización de máquinas	540
Determinación de suplementos	541
Determinación de tiempos estándar	543
Autoobservación	544
Software para muestreo del trabajo	548
Resumen	550
Preguntas	550
Problemas	551
Referencias	553
Software seleccionado	553
Videocintas seleccionadas	553



Capítulo 15**Estándares de mano de obra indirecta y general 555**

Estándares del trabajo indirecto y general 556

Datos de estándares de mano de obra indirecta y general 571

Estándares de desempeño profesional 575

Ventajas de los estándares del trabajo indirecto 579

Resumen 580

Preguntas 581

Problemas 582

Referencias 583

Videocintas seleccionadas 583

Capítulo 16**Seguimiento y uso de estándares 585**

Seguimiento y mantenimiento de tiempos estándar 586

Uso de estándares 589

Resumen 608

Preguntas 611

Problemas 611

Referencias 612

Software seleccionado 612

Capítulo 17**Pago de salarios 613**

Planes de jornada de trabajo 614

Planes de compensación flexibles 615

Planes financieros indirectos 626

Actitudes del sindicato 626

Requisitos de un plan de incentivos salariales 627

Diseño del plan de incentivos al salario 628

Administración del sistema de incentivos 630

Planes de motivación no financieros 634

Resumen 634

Preguntas 636

Problemas 636

Referencias 638

Software seleccionado 638

Capítulo 18**Capacitación y otras prácticas administrativas 639**

Capacitación del operario 640

Programas de capacitación en la planta 647

Empleados y motivación 649

Interacciones humanas 654

Comunicaciones 658

Relaciones laborales y medición del trabajo 662

Prácticas modernas de administración 663

Resumen 668

Preguntas 669

Problemas 669

Referencias 670

Software seleccionado 671

Apéndice 1**Glosario 672****Apéndice 2****Fórmulas útiles 691****Apéndice 3****Tablas especiales 695****Apéndice 4****MIL-STD-1567A 715****Índice 719**



ANTECEDENTES

Ante la competencia creciente alrededor del mundo, casi todas las industrias, negocios y organizaciones de servicio han tenido que reestructurarse para operar con mayor efectividad. Reducir su tamaño se ha convertido en una tendencia. Cada segmento de estas organizaciones debe aumentar la intensidad de su reducción de costos y el mejoramiento de la calidad, al mismo tiempo que reducir su fuerza de trabajo. La efectividad en costos y la confiabilidad del producto son esenciales para el éxito de las actividades en todas las áreas de negocios, industria y gobierno. La efectividad en costos con una calidad mejorada dentro de la capacidad restringida de la planta es el resultado final de los métodos de ingeniería, estándares de tiempo equitativos y una mayor motivación de los empleados mediante la introducción de un sistema administrativo moderno de recompensas.

De la misma manera, conforme las máquinas y equipo son cada vez más complejos y se automatizan, en parte o por completo, es más importante estudiar tanto las componentes manuales como los aspectos cognitivos del trabajo. El operario debe percibir e interpretar grandes cantidades de información, tomar decisiones importantes y controlar las máquinas con rapidez y exactitud. En los años recientes, los trabajos han cambiado gradualmente del sector de manufactura al de servicios. En ambos sectores, el énfasis ha ido cambiando de la actividad física burda al procesamiento de información y la toma de decisiones, en particular a través de las computadoras y la tecnología moderna asociada. La misma eficiencia y técnicas de diseño del trabajo son esenciales para mejorar la productividad en cualquier industria, negocio u organización de servicio, ya sea un banco, un hospital, una tienda de departamentos, un ferrocarril o el servicio postal. Más aún, el éxito en una línea dada de productos o servicios conduce a nuevos productos e innovaciones. Es esta acumulación de éxito la que impulsa la creación de empleos y el crecimiento de la economía.

El lector debe tener cuidado de no sentirse intimidado por el nuevo vocabulario ofrecido como panacea para la falta de competitividad de una empresa. Con frecuencia estas maniobras destruyen los buenos procedimientos de ingeniería y administración que, al utilizarlos de manera adecuada, representan la clave para un éxito continuo. Así, se escucha a muchas personas hablar de reingeniería y del uso de equipos de función cruzada conforme los líderes de negocios reducen costos, inventarios, tiempos de ciclo y actividades que no agregan valor. Sin embargo, la experiencia en los últimos años comprueba que disminuir el número de empleados en la nómina sólo por automatizar sus trabajos no siempre es un camino inteligente. Los autores, con muchos años de ex-

recomiendan con firmeza la aplicación de una ingeniería de métodos sólida, estándares realistas y pagos salariales equitativos como el fundamento de la prosperidad tanto en la manufactura como en los servicios.

POR QUÉ SE ESCRIBIÓ ESTE LIBRO

El objetivo de la undécima edición es el mismo que el de la décima: proporcionar un libro de texto universitario práctico, actualizado que describa la ingeniería de métodos para medir, analizar y diseñar el trabajo manual. La importancia de la ergonomía y el diseño del trabajo como parte de la ingeniería de métodos no sólo aumenta la productividad, sino mejora la salud y la seguridad del trabajador y, con ello, los costos finales de la compañía. Con demasiada frecuencia, los ingenieros industriales se enfocan sólo en el incremento de la productividad mediante la aplicación de cambios de métodos y simplificación del trabajo, lo que da como resultado tareas muy repetitivas para los operarios y un incremento en las tasas de incidencia de lesiones óseomusculares. Cualquier reducción en los costos obtenida se contrarresta por el incremento en los gastos médicos y de indemnización para los trabajadores, en especial si se considera el aumento constante en los costos del cuidado de la salud.

QUÉ HAY NUEVO EN LA UNDÉCIMA EDICIÓN

Se incluyó un capítulo nuevo, el capítulo 7, acerca de los aspectos cognitivos del trabajo, el procesamiento de información y la interfaz hombre-computadora. Los conceptos en este capítulo cobran una importancia creciente con la disminución constante de las tareas de manufactura en Estados Unidos y el aumento en la trascendencia del sector servicios. Se proporcionan ejemplos adicionales y casos de estudio que ilustran aplicaciones en la industria de servicios (vea el capítulo 14). Se redujo el alcance de algunos temas de menor importancia o de aquellos que han sido reemplazados por cambios tecnológicos. Por ejemplo, los capítulos 11 y 12 de la décima edición, centrados en los datos de estándares y la construcción de fórmulas, se han combinado en esta edición, dado que estas funciones ahora pueden lograrse usando varios paquetes de software disponibles en el mercado. Se agregaron cerca de 10 a 15% de ejemplos. La undécima edición todavía proporciona el apoyo continuo en muestreo del trabajo, estudio de tiempos, distribución de instalaciones y los diferentes diagramas de flujo de procesos para los estudiantes que ingresan a la profesión de ingeniería industrial y sirve como material de referencia práctico y actualizado para el ingeniero y el administrador que ya se encuentran en la práctica.

EN QUÉ DIFIERE ESTE LIBRO DE OTROS

La mayor parte de los libros de texto en el mercado tienen un manejo estricto de los elementos tradicionales del estudio de tiempos y movimientos, o bien incluyen los factores humanos y la ergonomía. Pocos libros integran ambos temas, o para el caso, pocos cursos. En la actualidad, el ingeniero industrial necesita considerar tanto los aspectos de

productividad como sus efectos en la salud y la seguridad del trabajador de manera simultánea. Pocos libros en el mercado tienen un formato que pueda usarse en el salón de clase. Este texto incluye preguntas adicionales, problemas y ejercicios muestra para el laboratorio que ayudarán al instructor. Por último, ningún libro de texto en esta materia cuenta con la amplia ayuda en Internet para el estudiante y el instructor, que proporciona formas electrónicas, información actualizada y cambios como lo hace esta edición.

ORGANIZACIÓN DEL MATERIAL PARA EL CURSO

La undécima edición está ordenada de manera que se cubra más o menos el material de un capítulo por semana en un curso semestral introductorio. Aunque hay un total de 18 capítulos, el capítulo 1 es una introducción breve, el capítulo 12 sobre construcción de fórmulas se puede cubrir en un curso de estadística y el 15 de estándares de trabajo indirecto y costos no es necesario incluirlo en un curso introductorio, lo que deja 15 capítulos para cubrir en un semestre.

Un plan semestral típico por capítulo puede ser el siguiente:

Capítulo	Clases	Qué se cubre en el curso
1	1	Breve introducción de la importancia de la productividad y el diseño del trabajo, con un perspectiva histórica concisa.
2	3	Algunas técnicas de cada área (análisis de Pareto, análisis del trabajo/guía para el lugar de trabajo, diagramas de flujo del proceso, diagramas hombre-máquina) con el análisis cuantitativo de las interacciones hombre-máquina. El balanceo de líneas se puede cubrir en otros cursos.
3	3	Análisis de la operación con algunos ejemplos.
4	4	Completo, pero la fisiología de los músculos y el gasto de energía pueden ser superficiales.
5	4	Completo.
6	4	Bases de iluminación, ruido, temperatura y quizá otros dos temas más. Seguridad y OSHA se pueden ver en otro curso.
7	3	La cobertura depende del interés del instructor.
8	3	Tres técnicas: ingeniería del valor, análisis costo-beneficio y diagramas cruzados; análisis y evaluación del trabajo e interacción con los trabajadores. Otras técnicas se pueden cubrir en otras clases.
9	2-3	Bases del estudio de tiempos.
10	1	Una forma de calificar.
11	2	Primera mitad de los suplementos que están bien establecidos.
12	1-2	Cubrir datos de estándares y fórmulas depende del interés del profesor.
13	3	Sólo un sistema de tiempos predeterminados con detalle.
14	2	Muestreo del trabajo.
15	1	Cobertura de estándares de mano de obra directa y general según los intereses del profesor.
16	2	Panorama general y costeo.
17	2	Plan de jornada de trabajo y horas estándar.
18	3	Curvas de aprendizaje, motivación y aptitudes de las personas.

El plan recomendado completa 40 a 45 clases. Tal vez algunos profesores dediquen más tiempo a algún capítulo para el que se proporciona material adicional, como diseño del trabajo (capítulos 4 a 7) y menos a la medición del trabajo tradicional (capítulos 8 a 16) o viceversa. El libro tiene esta flexibilidad.

MATERIAL SUPLEMENTARIO Y AYUDA EN LÍNEA

Esta undécima edición continúa centrándose en el omnipresente uso de las computadoras personales e Internet para establecer estándares, conceptualizar posibilidades, evaluar costos y difundir información. Una página en Internet (<http://www.mhhe.com/niebel-freivalds>), completa el objetivo al proporcionar al instructor amplios recursos en línea. El sitio incluye el manual del instructor actualizado, con copias electrónicas de las formas necesarias, problemas de práctica adicionales, casos de estudio y ejercicios de laboratorio sugeridos. El programa Design Tools, para estudio de tiempos, muestreo del trabajo, datos estándar, costeo, etcétera, también está disponible. Una característica nueva de la página es la adición de QuikTS y TimerPro, ambos son programas de recolección de datos para estudio de tiempos. Este último se puede bajar vía Hotsync a una agenda electrónica (Palm, m105 o superior) y usarse para recolectar los datos. Después se descargan directamente en la forma de estudio de tiempos de DesignTools para facilitar los cálculos del tiempo estándar. Para su comodidad, estos programas se incluyen en el CD anexo a este libro.

La página del libro tiene un vínculo publicado por el autor en <http://www.ie.psu.edu/courses/ie327>, que proporciona al instructor material antecedente, que incluye las versiones electrónicas de las formas disponibles en el manual del profesor. Los recursos para los estudiantes incluyen exámenes de práctica y sus soluciones. La información actualizada de errores encontrados o correcciones necesarias en esta nueva edición también aparece en la página. Algunas sugerencias recibidas de personas en universidades, escuelas, institutos técnicos, industrias y organizaciones laborales que usan con regularidad este libro han ayudado materialmente en la preparación de esta undécima edición. Otras sugerencias serán bienvenidas, en especial si se encuentran errores. Para hacerlas llegar, por favor, sólo oprima el botón de *OOPS!* en la dirección de Internet o por correo electrónico: axf@psu.edu. Igual que la página de Internet ésta también evolucionará continuamente. Todo el material antes mencionado está en inglés y su disponibilidad está sujeta a las condiciones específicas que se indican en estas páginas de Internet.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al profesor Ben Niebel (fínado) por darme la oportunidad de contribuir a su respetado libro. Espero que las adiciones y modificaciones estén a la altura de sus estándares y continúe siendo útil para los ingenieros industriales al incorporarse a la planta productiva. Gracias al Dr. Dongjoon Kong de la University of Tennessee, por dedicar tanto tiempo en Penn State a la programación de DesignTools. Gracias también a los siguientes revisores por sus invaluables sugerencias:

Farhad Booeshaghi, *Florida State University*
 Louis Freund, *San Jose State University*
 Mikell P. Groover, *Lehigh University*
 Monroe Keyserling, *University of Michigan*
 Gary P. Maul, *Ohio State University*
 Unny Menon, *California Polytechnic State University, San Luis Obispo*
 Patrick Patterson, *Iowa State University*
 Thomas Robinson, *California State University, Long Beach*

Por último, quiero expresar mi gratitud a Dace por su paciencia y apoyo.

Andris Freivalds



Fórmulas

Servicio sincronizado

$$n = \frac{l + m}{l + w}$$

$$CTE_{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

$$CTE_{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2 K_2)$$

Servicio aleatorio

$$\frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{(n-m)}$$

$$CTE = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

Eficiencia en la línea

$$E = \frac{\sum ME}{\sum MP} \times 100 \quad N = R \times \frac{\sum ME}{E}$$

Tarea de enrosque de Fitts

$$MT = a + b \log_2 \frac{2D}{W}$$

Descanso recomendado

$$R = \frac{W - 5.33}{W - 1.33}$$

Guía de levantamiento

$$LPR (lb) = 51 (10/H) (1 - 0.0075|V - 30|) \\ (0.82 + 1.8/D)(1 - 0.0032A)MF \times MC$$

$$IL = \text{Peso de la carga} / LPR$$

Dosis de ruido

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots \leq 1.0$$

Estrés por calor

$$TGBH_{IN} = .7BH + .3TG$$

$$TGBH_{SAL} = .7BH + .1BS + .2TG$$



Tasa de incidencia $TI = 200\,000 \frac{1}{H}$

Tasa de severidad $TS = 200\,000 \frac{LT}{H}$

Procesamiento de información $H = \sum p_i \times \log_2(1/p_i)$
 % redundancia = $(1 - H/H_{\max}) \times 100$
 $RT = a + bH$

Estudio de tiempos $n = \left(\frac{st}{k\bar{x}}\right)^2$
 $TN = \frac{TO \times CALIFICACIÓN}{100}$
 $TS = TN * (1 + SUPLEMENTO)$

Calificación sintética $P = \frac{f_T}{TO}$

Interferencia de máquina $I = 50 \left[\sqrt{(1 + X - N)^2 + 2N} - (1 + X - N) \right]$

Tiempo de corte $T = \frac{L}{F_m}$

Tasa de alimentación
 Taladro, torno $F_m = \frac{3.82 f S_f}{d}$

Fresadora $F_m = f n_i N_r$

Ecuaciones de geometría
 Recta $y = b_0 + b_1 x$
 $b_0 = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2}$

$b_1 = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2}$

Círculo $x^2 + y^2 = r^2$

Elipse $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Parábola $x^2 = \frac{a^2 y}{b}$

Hipérbola $\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{k^2} = 1$

Función de potencia $y = bm^x$

Muestreo del trabajo $n = \frac{3.84p(1-p)}{l^2}$

$$TO = \frac{T \times n_i}{P \times n}$$

Probabilidad Poisson $p(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}$

Eficiencia de mano de obra $E = \frac{He}{Hc}$

Costo de materiales Costo = $Q(1 + L_{sc} + L_w + L_{SH})C - S$

Incentivos salariales $y_w = 1 + p(x-1)$

Costo unitario mano de obra $y_c = \frac{y_w}{x}$

Curva de aprendizaje $y = kx^n \quad n = \frac{\log(\text{cociente de aprendizaje})}{\log 2}$

Tiempo total de aprendizaje $T = k \frac{[(x_2 + 1/2)^{n+1} - (x_1 - 1/2)^{n+1}]}{n+1}$

Línea de envíos $y = k + \frac{(k-s)(x-1)}{1-x_s}$

