



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA INCORPORADA A LA UNAM

300617

76  
2ej

MANUAL DE ESTUDIO  
DEL TRABAJO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL  
AREA INDUSTRIAL

TESIS CON  
FALLA

ASESOR DE TESIS:  
ING. JOSE MANUEL  
CAJIGAS RONCERO

PRESENTA:  
LUCIA TORIELLO ZAMORA

1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

### I N T R O D U C C I O N

#### I. DEFINICION Y ANTECEDENTES GENERALES

I.1	El Estudio del Trabajo como Técnica de Ingeniería Industrial .....	5
I.2	Estudios Clásicos de los Precusores del Estudio del Trabajo .....	7

#### II. PRODUCTIVIDAD

II.1	Nivel de Vida .....	13
II.2	Productividad .....	13
II.3	Relación entre Nivel de Vida y Productividad .....	15
II.4	Importancia de la Productividad .....	16
II.5	Productividad en la Industria .....	17
II.6	Condiciones previas para el aumento de la Productividad .....	20
II.7	Cuestiones Metodológicas Implícitas en la Medición de la Productividad .....	21
II.7.1	Indicadores de Productividad .....	21
II.7.2	Desarrollo de Mediciones de Productos mediante "Cantidades Físicas" Técnicas .....	30
II.7.2.a	Ponderaciones .....	30
II.7.2.b	Método del Valor Deflactado .....	36
II.7.2.c	Eslabonamiento .....	36
II.7.2.d	Insumo Laboral .....	38
II.7.3	Ejemplo. Informe Metodológico y Análisis de Indicadores de Productividad del Sector Económico denominado "Industrias Básicas del Hierro y del Acero" .....	40
II.7.3.a	Definición de la Actividad .....	40
II.7.3.b	Metodología Aplicada .....	41
II.7.3.c	Análisis de Resultados .....	42
II.8	El Enfoque de Sistemas de Producción .....	48
II.9	Modelos de Sistemas de Producción .....	49
II.9.1	La línea adaptada al ritmo de la máquina....	50
II.9.2	La línea adaptada al ritmo del trabajador...	51
II.9.3	El proceso automatizado .....	52
II.9.4	La concentración de operaciones afines .....	53
II.9.5	El grupo en las actividades de construcción.	54
II.9.6	El grupo en el sector servicios .....	55
II.9.7	El grupo por proceso diversificado .....	56

### III. TÉCNICAS DEL ESTUDIO DEL TRABAJO Y SUS CAMPOS DE APLICACION

III.1	Técnicas del Estudio del Trabajo	58
III.2	Campos de Aplicación del Estudio del Trabajo principalmente enfocado al Proceso Administrativo	61

### IV. ANALISIS DE LA OPERACION

IV.1	Estrategias Fundamentales	65
IV.2	Condiciones de Trabajo	68
IV.3	Finalidad de la Operación	69
IV.4	Diseño de la Parte	71
IV.5	Tolerancias y especificaciones	71
IV.6	Materiales	72
IV.7	Proceso de Fabricación	73
IV.8	Preparación y Herramental	73
IV.9	Manejo de Materiales	75
IV.10	Distribución de Planta y Equipo	78

### V. ESTUDIO DE METODOS

V.1	Concepto del Estudio de Métodos	85
V.2	Herramientas necesarias para el Estudio de Métodos	85
V.2.1	Distribución normal y desviación estándar...	92
V.2.2	Técnicas de los mínimos cuadrados y regresión	102
V.2.3	Programación lineal	106
V.2.3.a	Un ejemplo gráfico	107
V.2.4	El método simplex	114
V.2.4.a	Solución algebraica	114
V.2.4.b	Cuadros y matrices	120
V.2.5	El método de asignaciones	128
V.3	Objetivos específicos del Estudio de Métodos	133
V.4	Etapas del Estudio de Métodos	134
V.5	Diagramas de Registro de Estudio de Métodos	137
V.5.1	Diagramas de Proceso de Operaciones (Cursograma Sinóptico)	137
V.5.2	Diagrama de Proceso de Flujo (Cursograma Analítico)	144
V.5.3	Diagrama de Recorrido	147

V.5.4	Diagramas Hombre-Máquina y Diagramas de Actividades Múltiples .....	147
V.5.4.a	Técnicas Cuantitativas para relaciones Hombre-Máquina .....	152
V.6	Métodos de Trabajo y Movimientos en el lugar de Trabajo .....	169
V.6.1	Movimientos fundamentales .....	169
V.6.2	Diagrama bimanual .....	170
V.6.3	Principios de la economía de movimientos.....	177
V.6.4	Estudio de micromovimientos .....	180
V.6.5	El simograma .....	181
V.6.6	El uso de películas .....	181
V.6.7	Otras técnicas .....	182
V.7	Factor Humano en la Aplicación del Estudio de Métodos .....	183

## VI. MEDICION DEL TRABAJO

VI.1	Definición de Medición del Trabajo .....	188
VI.2	Objetivos de la Medición del Trabajo .....	188
VI.3	Usos de la Medición del Trabajo .....	190
VI.4	Procedimiento Básico de la Medición del Trabajo.....	191
VI.5	Técnicas de Medición del Trabajo .....	192
VI.5.1	Muestreo del trabajo .....	192
VI.5.2	Estudio de tiempos con cronómetro .....	192
VI.5.3	Sistema de normas de tiempos predeterminados .....	195
VI.5.4	Datos tipo .....	201
VI.6	Tiempo estándar .....	209
VI.7	Márgenes o tolerancias de tiempo .....	214
VI.7.1	Retrasos personales .....	215
VI.7.2	Fatiga .....	215
VI.7.3	Retrasos inevitables .....	218
VI.7.4	Interferencia de máquinas .....	218
VI.7.5	Retrasos evitables .....	220
VI.7.6	Tolerancias adicionales o extras .....	220
VI.7.7	Limpieza de la estación de trabajo y lubricación de la máquina .....	221
VI.7.8	Tolerancia por tiempo de suministro de potencia a una máquina .....	223
VI.7.9	Aplicación de las tolerancias o márgenes.....	224

A N E X O :	PRACTICAS DE ESTUDIO DEL TRABAJO .....	225
-------------	--	-----

## C O N C L U S I O N E S

## B I B L I O G R A F I A

# INDICE DE DIAGRAMAS

## INDICE DE DIAGRAMAS

### I. DEFINICION Y ANTECEDENTES GENERALES

I.1	Cronociclograma de levantar un pequeño desarmador .....	10
I.2	Cronociclograma del doblado de una toalla .....	11

### II. PRODUCTIVIDAD

II.1	Como se descompone el tiempo de fabricación .....	18
II.2	Industria del calzado. Indices de producción ponderados (empleado por unidad) .....	34
II.3	Eslabonamiento para un cambio en las ponderaciones .....	35
II.4	Gráfica de índices de productividad de la industria siderúrgica .....	43
II.5	Rama del acero. Índice de producto (cuadro 1).....	44
II.6	Rama del acero. Eslabonamiento de índices (cuadro 2) .....	45
II.7	Rama del acero (cuadro 3) .....	46
II.8	Rama del acero. Cuadro resumen base 1972 (cuadro 4) .....	47
II.9	Línea adaptada al ritmo de la máquina .....	50
II.10	Línea adaptada al ritmo del hombre .....	51
II.11	Proceso automatizado .....	52
II.12	Concentración de operaciones afines .....	53
II.13	Grupo de las actividades de construcción .....	54
II.14	Grupo del sector servicios .....	55

### III. TECNICAS DEL ESTUDIO DEL TRABAJO Y SUS CAMPOS DE APLICACION

III.1	Estudio del Trabajo .....	60
-------	---------------------------	----

### IV. ANALISIS DE LA OPERACION

## V. ESTUDIO DE METODOS

V.1	Curva normal. Distribución simétrica de probabilidades .....	97
V.2	Tabla de proporciones del área bajo la curva .....	99
V.3	Curva normal. Ejemplo .....	100
V.4	Curva normal. Ejemplo .....	101
V.5	Curva de regresión de "y" respecto de "x" .....	103
V.6	Zona de posibilidades de fabricación de motores .....	108
V.7	Zona de posibilidades del departamento de estampado .....	109
V.8	Zona de posibilidades del departamento de montaje .....	110
V.9	Líneas isocostales .....	111
V.10	Sistema algorítmico simplex .....	112
V.11	Diagrama de proceso .....	141
V.12	Diagrama de proceso .....	142
V.13	Diagrama de proceso .....	143
V.14	Cursograma analítico .....	148
V.15	Diagrama de recorrido .....	150
V.16	Servicio sincrónico. Situación ideal en que el operador y las máquinas siempre están ocupadas .....	155
V.17	Servicio sincrónico. Situación en que algunas máquinas están completamente paradas .....	156
V.18	Servicio sincrónico. Situación en que el trabajador esté ocioso parte del tiempo .....	157
V.19	Servicio sincrónico. Considerando el tiempo que tarda el operador en llegar a una máquina cuando éste tiene asignadas varias máquinas .....	161
V.20	Servicio sincrónico. Ciclo de trabajo cuando el operador tiene asignadas "N" máquinas .....	162
V.21	Servicio sincrónico. Ciclo de trabajo cuando el operador tiene asignadas "N+1" máquinas .....	163
V.22	Cuadro de Therbligs .....	171
V.23	Descripción de actividades .....	175
V.24	Diagrama bimanual .....	176
V.25	Áreas de más fácil alcance .....	179

## VI. MEDICION DEL TRABAJO

VI.1	Medición del trabajo .....	189
VI.2	Formulario general de estudio de tiempos .....	196
VI.3	Formulario simple de estudio para ciclo breve .....	197
VI.4	Resumen del estudio .....	198
VI.5	Análisis del estudio .....	199
VI.6	Niveles de datos en el sistema MTM .....	202
VI.7	Datos de aplicación del sistema MTM en tmu (pesos y medidas en unidades métricas decimales) .....	203
VI.8	Curva típica del trabajo .....	217



# INTRODUCCION

## I N T R O D U C C I O N

La Productividad se logra fácilmente cuando existe una buena administración del personal, de los materiales, y de las máquinas. Sin embargo, estacionarse en esta etapa sería limitar al trabajador en cuanto a lo que puede hacer para mejorar la productividad.

Así pues, el mejoramiento de la productividad depende de cada uno de los empleados y básicamente de las técnicas que se utilicen para lograrlo.

No hay que olvidar que el Estudio del Trabajo contribuye no solamente a aumentar la productividad, sino también a humanizar el trabajo.

El objetivo primordial de este trabajo es mostrar un panorama general del Estudio del Trabajo como medio para lograr incrementar la productividad de una empresa. En otras palabras pretende ser un manual de formación para el Estudio de Métodos y la Medición del Trabajo, los dos pilares del Estudio del Trabajo.

En el primer capítulo se expone tanto la definición como los antecedentes generales del Estudio del Trabajo.

El segundo capítulo trata acerca de la Productividad abarcando desde su definición hasta la descripción de los modelos de sistemas de producción. Al exponer este capítulo se pretende ver la importancia que tiene el Estudio del Trabajo ya que el mejoramiento de éste trae como consecuencia un aumento en la productividad al evitar reprocesos, rechazos, movimientos inútiles, tiempos muertos, etc.

El tercer capítulo define y menciona los puntos más relevantes de las dos técnicas básicas del Estudio del Trabajo que son: Estudio de Métodos y Medición del Trabajo, las cuales se explican ampliamente en los dos últimos capítulos.

En el cuarto capítulo se pretende hacer un procedimiento sistemático con el cual se pueda analizar cualquier operación. Una vez que se ha definido perfectamente ésta se puede elegir el método óptimo para ejecutar las operaciones.

En el quinto y sexto capítulo, como ya se mencionó anteriormente, se desarrollan ampliamente las dos técnicas del Estudio del Trabajo, respectivamente; así como también se presentan algunas herramientas estadísticas necesarias que se utilizan en el Estudio de Métodos.

A continuación se presenta la sección denominada "Anexo" en la cual se muestran algunos casos prácticos en los cuales se aplican los conceptos desarrollados a lo largo de este trabajo.

Por último se exponen las conclusiones.

# CAPITULO I

## DEFINICION Y ANTECEDENTES GENERALES

## I. DEFINICION Y ANTECEDENTES GENERALES

### I.1 El Estudio del Trabajo como Técnica de Ingeniería Industrial

A fin de ubicar el Estudio del Trabajo dentro de la Ingeniería Industrial hay que empezar a definir que es ésta:

LA INGENIERIA INDUSTRIAL SE OCUPA DEL DISEÑO, MEJORAS E INSTALACION DE SISTEMAS INTEGRADOS DE HOMBRES, MATERIALES Y EQUIPO: EXIGE UN CONOCIMIENTO ESPECIALIZADO Y DESTREZA EN LAS MATEMATICAS, LA FISICA Y LAS CIENCIAS SOCIALES, AUNADO CON LOS PRINCIPIOS Y METODOS DE ANALISIS DE LA INGENIERIA Y METODOS DE DISEÑO. A FIN DE PODER ESPECIFICAR, PREDECIR Y EVALUAR LOS RESULTADOS QUE SE OBTENDRAN CON TALES SISTEMAS.

La definición es bastante amplia para cubrir las diversas actividades específicas que comúnmente han sido clasificadas como parte de la disciplina de Ingeniería Industrial.

Algunas de estas actividades son:

- Selección de procesos y métodos de ensamble.
- Selección y diseño de herramienta y equipo.
- Diseño de facilidades en las que se incluyen: distribución de edificios, máquinas y equipo de manejo de materiales, almacenamiento de materias primas y productos terminados.
- Diseño y/o mejora de sistemas de planeación y control para la distribución de bienes y servicios, producción, inventarios, calidad, mantenimiento, ingeniería o cualquier otra función.
- Desarrollo de sistemas de control de costos, tales como control de presupuestos, análisis de costos y sistemas de costos estándar.
- Desarrollo de productos.
- Diseño e instalación de ingeniería económica y sistemas de análisis.
- Diseño e instalación de sistemas de información gerencial.
- Desarrollo e instalación de sistemas de salarios e incentivos.
- Desarrollo de medidas de eficiencia y estándares (incluyendo la medición del trabajo y sistemas de evaluación).
- Desarrollo e instalación de sistemas de evaluación de puestos.

- Evaluación de confiabilidad y rendimiento.
- Investigación de operaciones, incluyendo tópicos tales como análisis matemáticos, simulación de sistemas, programación lineal y teoría de las decisiones.
- Diseño e instalación de sistemas de procesamiento de datos.
- Sistemas, procedimientos y políticas de oficina.
- Estudios de localización de planta que tomen en cuenta mercados potenciales, fuentes de materia prima, suministro de mano de obra, financiamiento e impuestos.
- Planeación y organización.

Muchos de los futuros Ingenieros Industriales realizarán solo unas cuantas de estas actividades, sin embargo, tendrán las bases para enfrentarse a problemas de los demás campos de actividad.

Al igual que en cualquiera de las otras ramas de la Ingeniería, el Ingeniero Industrial deberá realizar dos cosas:

- a) Resolver los problemas de su campo de actividad.
- b) Vender su solución.

El término de ESTUDIO DEL TRABAJO se relaciona con la Ingeniería Industrial de la siguiente manera:

EL TERMINO DE ESTUDIO DEL TRABAJO SE UTILIZA PARA DESCRIBIR UNA COLECCION DE TECNICAS DE ANALISIS QUE ENFOCAN SU ATENCION EN LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE HOMBRES Y MAQUINAS.

Debido a que el aumento de la eficiencia deberá ser el objetivo de todo administrador o gerente con deseos de éxito, las técnicas de Estudio del Trabajo no estarán restringidas al departamento de Ingeniería Industrial. De hecho, estas técnicas pueden ser usadas por cualquier miembro de una organización con suficiente adiestramiento. El Estudio del Trabajo no deberá restringirse a una sola industria o negocio, ni deberá confinarse a una área funcional específica dentro de la industria o negocio. Debido a su gran potencial, puede ser utilizada por cualquier función.

El Estudio del Trabajo comprende la aplicación de dos técnicas:

- El Estudio de Métodos y
- La Medición del Trabajo

La primera tiene por objeto la mejora de los métodos de trabajo y la segunda, a su vez, se encamina al establecimiento de normas de rendimiento en la ejecución de esos métodos de trabajo.

Teniendo en mente lo anterior se puede decir que el Estudio del Trabajo cubre directamente unas ocho de las actividades específicas de la Ingeniería Industrial y, de una manera indirecta, también las demás.

Muchas de estas actividades también son cubiertas por otras ramas de la Ingeniería pero lo que define al Ingeniero Industrial es el enfoque de los problemas como un sistema integrado de hombres, materiales y equipo.

Originalmente el Estudio del Trabajo fue conocido como Estudio de Tiempos y Movimientos y, en muchos lugares todavía se le conoce así. Por su parte, la OIT (Oficina Internacional del Trabajo) utiliza el término de "ESTUDIO DEL TRABAJO" el cual es ampliamente aceptado en varios países.

Se entiende por Estudio del Trabajo genéricamente ciertas técnicas, y en particular el Estudio de Métodos y la Medición del Trabajo, que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada, con el fin de efectuar mejoras.

## 1.2 Estudios Clásicos de los Precursores del Estudio del Trabajo

El primer Estudio de Métodos reconocido se realizó en 1760, cuando el francés M.P. Perronet hizo un estudio de la fabricación de pasadores. Por 1830, Charles Babbage, inglés, también estudió la fabricación de pasadores. Estos estudios, sin embargo, parece que no consistieron en otra cosa que en el cronometraje del proceso completo de fabricar pasadores.

El primer enfoque sistemático hacia la mejora de métodos fue llevado a cabo por Frederick J. Taylor en 1883. Taylor dividía cada tarea en elementos individuales de trabajo y estudiaba cada elemento por separado. El término "Estudio de Tiempos" apareció por primera vez en los escritorios de Taylor. Fue el primero en aplicar un acercamiento científico para lograr mejores métodos de trabajo. Taylor es considerado como el precursor del Estudio de Tiempos.

En el sistema que desarrolló, basado en la idea "tarea", proponía que la gerencia se encargara de planear el trabajo de cada empleado al menos con un día de anticipación, proporcionándole instrucciones por escrito con suficiente detalle e indicándole los medios con que debería efectuar dicha tarea; posteriormente los expertos fijarían un tiempo estándar, después de realizar los estudios de tiempos necesarios; la base de estos tiempos sería un trabajador calificado que, después de haber sido instruido, fuera capaz de realizar los trabajos con continuidad. Para la toma de tiempos, Taylor sugería dividir el trabajo en elementos y tomar el tiempo de cada uno de ellos.

En 1895 Taylor presentó sus observaciones y recomendaciones a la ASME (American Society of Mechanical Engineers. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), pero sus ideas fueron consideradas como un nuevo sistema de trabajo de destajo.

En 1903, nuevamente en la ASME, presentó su artículo "Administración del Taller", describiendo los elementos para la administración científica, entre los cuales podemos mencionar:

- Estudio de tiempos con implementos para su adecuado desarrollo.
- Supervisión funcional o dividida.
- Estandarización de herramientas e implementos, así como de las acciones y movimientos de los obreros.
- Contar con un departamento de planeación.
- Uso de reglas de cálculo y similares.
- Tarjetas de instrucción para el trabajador.

Muchos gerentes adoptaron sus ideas logrando buenos resultados. Sin embargo, a pesar de sus adaptaciones favorables, hubo reacciones debido al mal uso que se hizo de sus ideas por la influencia de otras personas que, con pocos



conocimientos, establecían normas de rendimiento difíciles de alcanzar, ocasionando trabajo más pesado y menos salario. Estas personas se hacían llamar "expertos en eficiencia". Las reacciones no se hicieron esperar, llegando a tal grado que el propio gobierno tuvo que prohibir indirectamente los estudios de tiempos en sus fábricas.

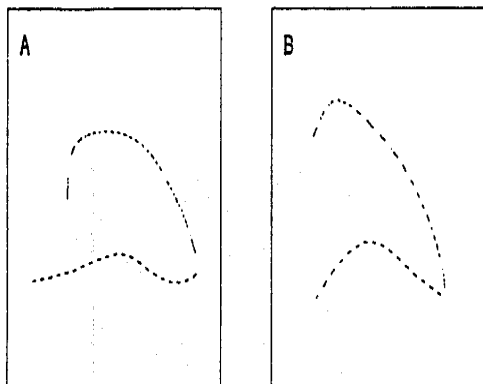
Una investigación un poco más profunda de parte de Frank y Lillian Gilbreth estaba siendo llevada a cabo más o menos por el mismo tiempo. Su atención estaba dirigida a la subdivisión de una tarea específica en la que ellos consideraban como los elementos más fundamentales del movimiento, el estudio de estos elementos por separado y su relación entre sí. Posteriormente reconstruían la tarea con la eliminación de lo que ellos consideraban como elementos sin provecho; la síntesis de los elementos provechosos se ordenaba para dar lo que se consideraba la mejor secuencia y combinación. Los Gilbreth se referían a su trabajo como "Estudio de Movimientos". Desde el principio los Gilbreth mostraron una apreciación del ritmo y del automatismo, no considerado por Taylor. Taylor, a decir verdad, había considerado los procesos y los movimientos en una forma burda; fueron los Gilbreth quienes le dieron total significación.

El interés de Frank Gilbreth por los movimientos se originó en el oficio de albañilería, donde introdujo mejoras en los métodos y en el entrenamiento de los operadores, logrando un aumento en el promedio de colocación de ladrillos de 120 a 150.

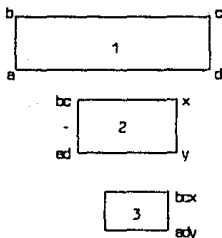
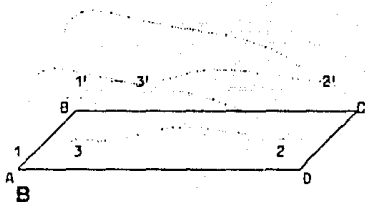
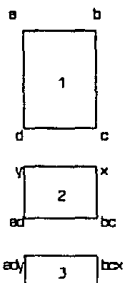
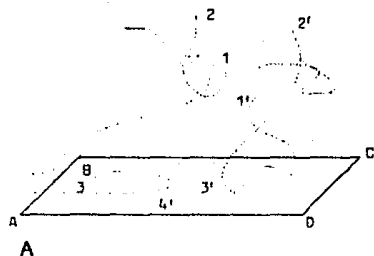
En 1912, los Gilbreth presentaron ante la ASME un refinamiento de su técnica original de estudio de movimientos; denominaron a este nuevo desarrollo "Estudio de Micromovimientos" esencialmente éste consistía en el estudio de los elementos fundamentales del movimiento con la ayuda de películas. También desarrollaron la técnica del análisis ciclográfico y del cronociclograma.

Los estudios de los Gilbreth tienen una aplicación amplia no solo en la industria, sino también en los trabajos de oficina y del hogar.

LAS TECNICAS DEL CRONOCICLOGRAMA, DESARROLLADA POR FRANK GILBRETH, PERMITE, ENTRE OTRAS COSAS, DETERMINAR MEJORES ARREGLOS DE AREAS DE TRABAJO Y LA VENTAJA DE LOS MOVIMIENTOS CURVOS Y CONTINUOS SOBRE LOS MOVIMIENTOS RECTOS QUE SON RESTRINGIDOS.



CRONOCICLOGRAMA DE LEVANTAR UN PEQUEÑO DESARMADOR DE:  
A) UNA SUPERFICIE PLANA.  
B) UN CONTENEDOR DE HERRAMIENTAS.



**CRONOCICLOGRAMA DEL DOBLADO DE UNA TOALLA.**

**METODO VIEJO (A): HACER EL PRIMER DOBLEZ EN EL AIRE.**

**METODO NUEVO (B): GIRAR TOALLA A TRAVES DE UN ANGULO RECTO  
MIENTRAS SE DOBLA SOBRE LA MESA.**

**ESTA TECNICA DEL CRONOCICLOGRAMA PERMITE HACER UN ANALISIS  
DETALLADO DE LOS MOVIMIENTOS Y DETERMINAR CUALES SON LOS  
MEJORES METODOS DE TRABAJO.**

# CAPITULO II

## PRODUCTIVIDAD

## II. PRODUCTIVIDAD

### II.1 Nivel de Vida

Antes de comenzar el Estudio de Métodos, es necesario analizar ciertos aspectos sociales y económicos que se verán involucrados directamente en dicho estudio y que nos harán ver la importancia del mismo.

NIVEL DE VIDA ES EL GRADO EN QUE UNA PERSONA PUEDE PROPORCIONARSE A SI MISMO Y A SU FAMILIA LOS MEDIOS NECESARIOS PARA SOSTENERSE Y DISFRUTAR DE LA EXISTENCIA.

Las necesidades que deben ser cubiertas para que el nivel de vida alcance un mínimo decoroso son:

- Alimentación
- Vestido
- Vivienda

Estas tres condiciones son necesarias y esenciales para la subsistencia del hombre, sin embargo, no garantizan el nivel de vida mínimo aceptable; para lograrlo el hombre requiere cubrir aún otras necesidades, tales como:

- Higiene
- Educación
- Seguridad
- Entretenimiento

Las tres primeras son las que el hombre se provee a sí mismo con su trabajo. Las demás son atendidas por las autoridades públicas, aunque indirectamente, el hombre, con su trabajo, costea los servicios que ofrece el gobierno.

En resumen, podemos decir que es el hombre quien costea todos los bienes y servicios para tener el nivel de vida mínimo aceptable, gracias a su trabajo.

### II.2 Productividad

Uno de los conceptos más importantes para el Ingeniero Industrial es la PRODUCTIVIDAD. Existe una diferencia entre producción y productividad:

- PRODUCCION.-** ES EL NUMERO DE BIENES O SERVICIOS OBTENIDOS EN UN TIEMPO DETERMINADO.
- PRODUCTIVIDAD.-** ES LA RELACION ENTRE LO PRODUCIDO Y LO INSUMIDO.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{producido}}{\text{insumido}}$$

Esta última definición vale para cualquier tipo de empresa y es la relación entre la cantidad producida y la cuantía de los recursos que se hayan empleado en la producción. Dichos recursos se pueden clasificar así:

- Tierra
- Materiales
- Instalaciones/maquinaria/herramienta
- Mano de obra

Uno de los objetivos primordiales de la Ingeniería Industrial será aumentar la productividad.

Un aumento, en la producción no supone en sí un aumento en la productividad, ya que si se añaden recursos en una proporción igual a la producción, la productividad no cambia; por otra parte, si se aumenta el consumo de recursos en un porcentaje mayor que la producción, se tendrá un descenso en la productividad.

Habiendo entendido esto, ahora si podemos decir que no se acostumbra hablar de productividad de cada uno de los recursos en particular, sino de todos en conjunto.

Como conclusión podemos decir que elevar la productividad significa producir más con el mismo consumo de recursos, o bien, producir la misma cantidad utilizando un número menor de recursos y dedicando esta economía de recursos a la producción de otros bienes o servicios.

La importancia de los recursos depende de ciertos factores tales como:

- Naturaleza de la empresa
- País en que opera
- Disponibilidad y costo de los recursos empleados
- Indole del producto
- Procesos o sistemas de fabricación

Todos los factores mencionados anteriormente harán que, para determinada empresa, los recursos empleados en la producción adquieran mayor o menor importancia. Por ejemplo, podemos decir por lo que respecta a los energéticos, específicamente el petróleo, que en los países en los que no existen reservas naturales del mismo, el cuidado en su utilización y mejor aprovechamiento es mayor que en aquellos países en donde se cuenta con grandes reservas.

Igualmente, para cada uno de los factores indicados anteriormente se podrán mencionar un gran número de ejemplos. Como aclaración es necesario decir que independientemente de la clase de recursos empleados en la producción es muy importante que cada empresa se preocupe de aprovecharlos al máximo.

### II.3 Relación entre Nivel de Vida y Productividad

Por los conceptos estudiados anteriormente sobre el Nivel de Vida y la Productividad se puede observar que hay una estrecha relación entre ambos, pues si se produce una mayor cantidad a un mismo costo, o la misma cantidad a un costo inferior, la comunidad obtiene beneficios que se reflejan en varias formas.

Una mayor productividad ofrece posibilidades de elevar el nivel de vida, principalmente mediante:

- a) Mayores cantidades, tanto de bienes de consumo, como bienes de producción, a un costo menor y a un precio menor.
- b) Mayores ingresos reales.
- c) Mejora de las condiciones de vida y del trabajo, como inclusión de una menor duración del trabajo.
- d) En general, un refuerzo de las bases económicas del bienestar humano.

Obviamente todo esto se logrará cuando exista un gran sentido de responsabilidad y honestidad por parte de los directores de empresas y del Estado.

Por parte de los trabajadores, ellos también lograrán hacer válido esto, cuando entiendan que un incremento en su nivel de vida, también se logrará con estudio constante y firme deseo de superación.

## II.4 Importancia de la Productividad

La acción productiva se desenvuelve en tres periodos sucesivos: teoría, aplicación y ejecución. Todo productor necesita conocer el fin racional que se propone, los medios más eficaces, más breves, menos costosos y el mejor procedimiento para emplearlo con éxito. Este conocimiento es indispensable en todo género de empresas, desde las de mayor importancia y dificultad hasta las más humildes y sencillas.

La ruta que todo negocio o empresa debe seguir para crecer es aumentando su productividad.

La producción obtenida es el resultado de la combinación hombre, recursos y capital por medio del trabajo surgidas para satisfacer las necesidades humanas y lograr un nivel de vida aceptable.

Dentro de la productividad intervienen muchos factores, su importancia varía de acuerdo con el "desempeño de las actividades" y de la dependencia entre unos y otros. De aquí la importancia del Estudio del Trabajo y su estrecho vínculo con la productividad, ya que nos va a servir para obtener una mayor producción a partir de una cantidad de recursos dada, manteniendo constantes o aumentando ligeramente las inversiones de capital.

Existen varios métodos de aumentar la productividad como: inventar nuevos procedimientos, modernizar la maquinaria y el equipo, comprar nueva tecnología, etc., lo cual implica fuertes desembolsos de capital y probablemente puede convertirse en una salida desventajosa. En cambio, el Estudio del Trabajo tiende a aumentar la productividad recurriendo poco o nada a inversiones suplementarias de capital ya que somete el problema a un análisis sistemático para encontrar la falla y mejorar la eficacia de lo ya existente.

Al igual que la Administración de la Producción actual es diferente que la de ayer, la de mañana diferirá de la de hoy. Quizá pueden resumirse brevemente los cambios que apuntan en el horizonte diciendo que casi todos los organismos serán más grandes, que tendrán en cierta forma mayor variedad y que sus administradores aplicarán procedimientos técnicos más modernistas. Teniendo en cuenta





## COMO SE DESCOMPONE EL TIEMPO DE FABRICACION

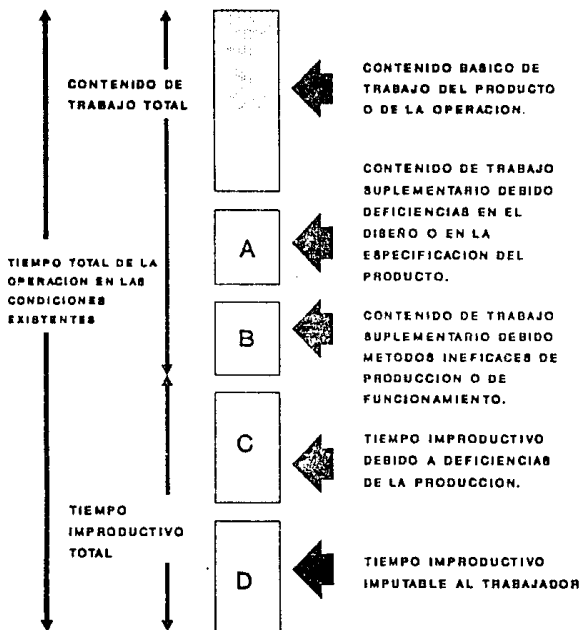


FIGURA II.1

desarrollara a la perfección, si no hubiera pérdida de tiempo por ningún motivo durante la actividad (con excepción de las pausas normales de descanso que se dan al trabajador). Esto es, obviamente, una situación que nunca se logrará, pero el objetivo de la gerencia debe ser el aproximarse lo más que sea posible al Contenido Básico de Trabajo.

Hay dos elementos que se vienen a sumar al Contenido Básico de Trabajo; tales elementos son:

- a) Los contenidos suplementarios de trabajo A y B.
- b) Los tiempos improductivos C y D.

A ellos se debe la disminución en la productividad o el estancamiento de la misma. En otras palabras, eliminándolos o reduciéndolos se logra elevar la productividad.

Las causas específicas de estos dos tiempos adicionales al Contenido Básico de Trabajo son:

**A.- CONTENIDO DE TRABAJO SUPLEMENTARIO DEBIDO A DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO O ESPECIFICACION DEL PRODUCTO.**

1. Diseño del producto o partes que impide la utilización de procedimientos o métodos de fabricación más económicos.
2. Diversidad excesiva de productos o falta de normalización de los componentes.
3. Fijación equivocada de normas de calidad, por exceso o por defecto.
4. Los componentes de un producto pueden tener un modelo tal, que para darle forma definitiva es preciso eliminar una cantidad excesiva de material, ocasionando desperdicios de material y aumento en el contenido de trabajo.

**B.- CONTENIDO DE TRABAJO SUPLEMENTARIO DEBIDO A METODOS INEFICACES DE PRODUCCION O FUNCIONAMIENTO.**

1. Utilización de tipos o tamaños inadecuados de maquinaria cuya capacidad sea inferior a la de la maquinaria apropiada.
2. Si el proceso no funciona adecuadamente en las condiciones de alimentación, ritmo, velocidad de recorrido, temperatura, presión, etc.
3. Si se utilizan herramientas inadecuadas.

4. Si la disposición de la fábrica, taller o lugar de trabajo impone movimientos innecesarios dando por resultado pérdida de tiempo y fatiga.
5. Si los métodos de trabajo del operario entrañan movimientos innecesarios, pérdida de tiempo y energía.

C.- TIEMPO IMPRODUCTIVO POR DEFICIENCIAS EN LA DIRECCION

1. Política de ventas que exija un número excesivo de variedad de un producto.
2. Por normalizar las partes componentes de uno o varios productos con efecto similar.
3. Por no cuidar el diseño del producto respetando las indicaciones del cliente y evitar modificaciones del modelo.
4. Por no planificar la secuencia de operaciones y pedidos.
5. El no organizar adecuadamente el abastecimiento de materias primas, herramientas y demás elementos necesarios.
6. Por no conservar las instalaciones y la maquinaria en buen estado.
7. Por permitir que las instalaciones y la maquinaria funcionen en mal estado.
8. Por no crear condiciones de trabajo que permitan al operario trabajar en forma continua.

D.- TIEMPO IMPRODUCTIVO IMPUTABLE AL TRABAJADOR

1. Ausencias, retardos, no trabajar inmediatamente, trabajar despacio, o simple y sencillamente no querer trabajar.
2. Trabajar con descuido, originando desechos y/o repeticiones.
3. No observar las normas de seguridad.

II.6 Condiciones previas para el aumento de la Productividad

El aumento de la productividad será una acción combinada de patrones y trabajadores.

El gobierno deberá preocuparse de:

- Disponer de programas equilibrados de desarrollo económico.

Adoptar las medidas necesarias para mantener el nivel de empleo.

Tratar de crear oportunidades de empleo para los desempleados y subempleados, incluyendo un esfuerzo para evitar el desempleo "ocasionado" por la introducción de tecnología avanzada.

Los patrones, incluyendo el gobierno cuando actúa como tal, deberán desarrollar programas de productividad, crear buenas condiciones de trabajo, ofrecer programas de capacitación, etc., para lograr la cooperación y mejor rendimiento de los trabajadores.

Los sindicatos, a su vez, deberán estimular a sus afiliados y pugnar porque todos estos programas sean encaminados realmente en beneficio de los trabajadores y del país.

## II.7 Cuestiones Metodológicas Implícitas en la Medición de la Productividad

Aunque el enfoque se refiere a mediciones industriales, la metodología que se emplea es apropiada para todo tipo y niveles de entidades organizacionales, sin importar su sector público o privado.

### II.7.1 Indicadores de la Productividad

En la siguiente gráfica se pueden ver los tipos de medición de productividad. En un extremo se tiene el grupo de mediciones del trabajo donde el foco está generalmente sobre una actividad laboral relativamente limitada, por ejemplo, un estándar de trabajo de ingeniería industrial donde la tecnología se mantiene constante.

En el otro extremo, está el tipo efectividad, donde el foco recae sobre la respuesta a la pregunta "¿Qué tan efectivamente reconoce la unidad organizacional sus metas?". En este caso, los factores externos a la organización generalmente tienen un impacto significativo sobre la medición, y son particularmente significativos para el sector gubernamental, donde la ubicación del mercado y las fuerzas económicas no operan; por ejemplo, el índice de criminalidad.

En la parte media de la gráfica se tienen las mediciones del tipo de eficiencia, que responden a la pregunta "¿qué tan eficientemente utiliza la organización sus recursos para producir resultados finales?".

Estas mediciones responden a diferentes preguntas y cada una es intrínsecamente útil para analizar las operaciones de una organización.

Dentro del grupo de eficiencia se tiene un subespectro de mediciones parciales, donde se relaciona el producto con sólo uno de los insumos, y un subespectro multifactores, donde el producto se relaciona con varios insumos.

Se tratará una medición parcial, específicamente "producto por hora-empleado", en la cual es importante señalar que cuando se analizan los movimientos en esta relación, los cambios en él pueden deberse a muchos factores adicionales al esfuerzo laboral, tal como la sustitución de capital por trabajo.

#### GAMA DE MEDICIONES

MEDICIONES DEL TRABAJO	PRODUCTIVIDAD (EFICIENCIA)	EFFECTIVIDAD
------------------------	-------------------------------	--------------

$\frac{P}{MO}$	$\frac{P}{K}$	$\frac{P}{T}$	$\frac{P}{MO, K, T}$
----------------	---------------	---------------	----------------------

P= Producción    MO= Mano de Obra    K= Capital    T= Trabajo

En base a esto se pueden examinar algunos conceptos que subyacen a la medición del producto en el contexto de 5 criterios que se usan para seleccionar sus indicadores y desarrollar una medición del mismo y, algunos problemas de medición asociados con estos criterios.

#### Criterios:

- A) Representar productos finales o servicios de la organización.

- B) Detallar suficiente para asegurar homogeneidad de productos.
- C) Reflejar cambios en calidad.
- D) Reflejar actividades de la organización.
- E) Reflejar las cargas de trabajo en cada año.

#### A. Productos finales

Se eligen los "productos finales" de la organización, esto es, los productos o servicios que salen de la institución y no los productos intermedios o servicios que son incluidos o incorporados en los productos finales.

Lo anterior no significa que no se deben desarrollar las mediciones para sus unidades organizacionales intermedias de servicio. Estas serán útiles como una herramienta más.

Un acceso a la medición es desarrollar medidas de productividad para todos sus servicios intermedios y agregarlos al nivel total; sin embargo, este enfoque tiene la desventaja de que supone implícitamente que un incremento en los servicios intermedios significa un incremento correspondiente en los productos finales, lo que sucede en raras ocasiones.

Ejemplo: Un sistema de transporte tiene como función el movimiento de pasajeros y/o el flete de un lugar a otro. En un sistema de transporte es acostumbrado para los trenes o camiones el ir y venir por una ruta prescrita a intervalos de tiempo establecidos. Se requiere que la organización ofrezca el servicio por regla, aún si no es usado. La pregunta es que si ningún pasajero aborda estos vehículos, ¿tiene un producto final producido durante este período "en blanco"? Algunos argumentarán que el camión va y viene en una capacidad de "prontitud de servicio", que es el producto final del servicio de transporte con "kilómetros por camión" como indicador apropiado. Otros quizás argumentarán que no se producen productos finales cuando los conductores no tienen pasaje, porque no hay significado económico en nuestro camión vacío, que va de un lado a otro.

Ciertamente, para el gerente de una compañía una medición kilómetros-camión da alguna información acerca de la utilización de su recurso de conductores en relación con los kilómetros cubiertos, lo cual puede ayudarle a analizar la eficiencia operacional de la compañía.

Como tal, esta medida puede ser llamada útil intrínsecamente para propósitos gerenciales. De hecho, se presentan 2 mediciones para el sector privado anunciado: índice de transporte por ferrocarril, kilómetros por camión y kilómetros-pasajero de tráfico de ingreso. Nosotros vemos la serie de tráfico de pasajeros de ingreso como la prioritaria.

El problema con una medición del tipo kilómetro-camión viene cuando se trata de totalizarlas en un nivel más alto. Sin una base de significado económico, no hay seguridad en combinar este tipo de medidas para las organizaciones que tengan diferentes funciones.

**B. Detalle suficiente para asegurar la homogeneidad de productos**

El segundo criterio se relaciona con tener suficiente detalle para asegurar la homogeneidad del producto con respecto a los requerimientos laborales. Se puede tener una inclinación o error en la medida, si los datos están demasiado agregados.

En el ejemplo siguiente, se ve cómo una medición del producto basada en el número total de aparatos de televisión no reflejaría apropiadamente el producto de esta planta de T.V.

Nota:

- 1) El nivel total refleja un grupo de productos heterogéneos en términos de requerimientos de la unidad laboral.
- 2) La importancia relativa de los dos productos ha cambiado del periodo 1 al periodo 2, los televisores de blanco y negro con menos requerimientos laborales se han vuelto un porcentaje más grande del total. Una medida basada en el número total de aparatos de televisión no muestra cambios del periodo 1 al periodo 2. Estamos dándole implícitamente una ponderación igual.



**INDUSTRIA DE LA T.V.  
PROBLEMA DE UN PRODUCTO DETALLADO**

Grupo televisores de 19 pulgadas

	NO PONDERADO		VALOR AGREGADO		
	ULR	Periodo		Periodo	
		1	2	1	2
Televisores Blanco y Negro	1	5	8	5	9
Televisores Color	2	7	4	14	8
TOTAL		12	12	19	16
Indice		100.0	100.0	100.0	84.2
		SIN CAMBIO		DECREMENTO	

1. Los requerimientos de unidad laboral son diferentes.
2. Una variación en la importancia del tipo de grupo de televisores manufacturados podría crear una tendencia.
3. El uso de productos detallados con ponderaciones apropiadas aseguran una correcta medición. Sin embargo, se observa que si usamos la información detallada y ponderamos apropiadamente los dos productos mediante el reflejo de la diferencia en los requerimientos de trabajo unitario de los 2 productos, la medición del producto correcta muestra un declive.

Esto, está referido como un problema de mezcla de productos. No queremos que la medición exponga cambios en la importancia relativa de estos productos, porque estos desplazamientos no reflejan productividad, es decir, el cambio en recurso se usa para producir estos bienes. La regla general por recordar es tratar de desarrollar la medición del producto a un nivel suficientemente detallado, y evitar los problemas de "mezcla de productos".

**C. Ajuste por cambio de calidad**

La medición deberá ser ajustada por el cambio de calidad. Este es un tópico controversial en el que existen diferentes opiniones sobre los tipos de calidad a los cuales ajustarse.

Existe un ajuste cuando hay cambios en las características básicas del producto siempre y cuando reflejen un proceso de producción alterado con diferentes requerimientos laborales para el periodo base, para producir el producto. Si los cambios de calidad no son ajustados, la medición de productividad reflejará tanto los cambios "reales" en la eficiencia como los "aparentes", resultado simplemente de alteraciones básicas del producto.

Una manera de ajuste es mostrada en el cuadro siguiente que es un ejemplo de un incremento en la calidad de un reporte y cómo puede ser ajustado este cambio en la calidad.

En el año 3 una unidad organizacional incremento la calidad del tipo B, reporta según incluye las diferentes nuevas secciones.

#### AJUSTE DE CAMBIOS EN LA CALIDAD

AÑO BASE PRODUCTO	NUMERO DE REPORTE PRODUCTO PONDERADO	PRODUCIDOS		
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Tipo A	2 (calculado)	5	7	8
Tipo B (Viejo)	1 (calculado)	7	8	6
Tipo B (Nuevo)	0.5 (estimado)	-	-	6

El enfoque tomado del ejemplo es para identificar las áreas específicas de cambio en el producto dado, cuantificar estas áreas separadamente y estimar el tiempo de incremento que habría tomado producir estos cambios en el año base.

Esencialmente, lo que se hace aquí es intentar cuantificar las secciones incrementadas del reporte, y entonces tratarlas como un producto adicional. Este es sólo uno de varios enfoques alternativos de las hojas de trabajo, para hacer este ajuste. Lo que se debe tener presente es que se desea medir el mismo producto o servicio a lo largo del tiempo.

#### D. Reflejar actividades de la organización

Los indicadores de producción pueden reflejar actividades de la organización al considerar los dos aspectos siguientes:

1. El primero, se refiere a indicadores sustitutos de "Tipo Indirecto" utilizados cuando no existe un indicador directo del producto final.

El uso de estas mediciones estará en función de la dependencia y proporcionalidad de la carga de trabajo esperada con respecto a la carga de trabajo que representa el sustituto.

El siguiente diagrama servirá para mostrar un ejemplo de un indicador sustituto.

Ejemplo: Una organización federal que desarrolla programas de adiestramiento en el trabajo para veteranos y otorga contratos a organizaciones privadas para el manejo y revisión de dichos programas, podría considerar como indicadores apropiados del trabajo ejecutado aspectos tales como el "número de visitas de supervisión", "el número de preguntas técnicas respondidas" y el "número de contratos establecidos por tipo de programas". Sin embargo, el "número de veteranos adiestrados" o el "número de la capacitación proporcionada por año" podrían ser menos convenientes como indicadores de la carga de trabajo, puesto que los esfuerzos realizados por los trabajadores federales no se pueden modificar apreciablemente si 100 o 500 gentes son entrenadas en un determinado programa.

Podemos observar que estos indicadores sustitutos podrían ser buenas medidas de la efectividad debido a que indican el grado en que se están cumpliendo las metas en la organización.

#### EJEMPLO DE UN INDICADOR SUSTITUTO

**FUNCIÓN ORGANIZACIONAL:** El desarrollo de programas de Adiestramiento en el Trabajo para veteranos. Otorgan contratos a organizaciones privadas para llevar a cabo los programas y supervisar el trabajo contratado.

## INDICADORES SUSTITUTOS

1. Número de veteranos adiestrados.
2. Número de la capacitación por año.

## PRODUCTOS FINALES

1. Número de visitas de supervisión.
2. Número de contratos establecidos.

2. El segundo aspecto estima cambios en la integración vertical y las distorsiones que puedan generarse en la medición por el cambio del mismo. Para ilustrar este punto, se introducirán los conceptos de "Producto Bruto", "Producto Neto" e "Integración Vertical".

El "Producto Neto" se considera como el valor agregado, es decir, representa el valor adicional de los bienes y servicios finales al eliminarse el valor de los bienes y servicios utilizados en su elaboración; mientras que el "Producto Bruto" representa el valor de estos componentes en conjunto.

Las mediciones usadas para los principales sectores de la economía están basadas en un concepto de producto neto, mientras que, las mediciones industriales y del Gobierno están basadas en el producto bruto que representa las salidas netas.

## PRODUCTO NETO Y BRUTO

	COSTO DE MATERIAL	VALOR AGREGADO	VALOR DE VENTA
Granjero	0	4	4
Molino	4	2	6
Panadería	6	6	12
Distribuidor	12	8	20
VALOR DEL PRODUCTO FINAL		20	42
		(Producto Neto)	(Producto Bruto)

El "grado de integración vertical" es la proporción de bienes y servicios intermedios dentro del flujo total del proceso de producción, que son considerados insumos en la organización.

Lo importante no es el nivel de integración vertical en un año determinado; más bien, es el nivel de cambio de un año con respecto al siguiente.

Los cambios en la integración vertical se consideran en la medición del producto neto ya que a éste se le han eliminado los bienes y servicios intermedios, es decir, se está midiendo el "valor agregado". De otra manera, los cambios en la integración vertical distorsionarán la medición del "producto bruto" dando resultados engañosos.

El cuadro siguiente es ejemplo de esta situación.

1. El radio de integración vertical ha permanecido constante en 0.60
2. La producción neta y bruta medidas en valores constantes, muestran un 100% de incremento.
3. Una medición de productividad para esta industria no estaría inclinada por el uso de una medición de producción bruta (ventas) más que por una producción neta (valor agregado).

INTEGRACION VERTICAL  
INDUSTRIAS DE LA LECHE

(Valores Constantes)

	Período 1	Período 2	Porcentual
Costo material	1000	2000	100%
Valor agregado (producción neta)	1500	3000	100%
Producto Bruto	2500	5000	100%
Integración vertical (Valor	.6	.6	Agregado/Ventas)

Otro ejemplo de esta distorsión sería:

Una empresa ensambladora de automóviles que en primera instancia fabrica los motores que instala, cuando cambia su política hacia la compra de dichos motores, podría encontrar un cambio aparente en la productividad, cuando analiza que con el mismo número de empleados puede ensamblar más automóviles que antes, usando una medida de producto bruto.

De aquí que debe tenerse presente que al utilizar mediciones de Producto Bruto, se tendrán que checar los cambios que pueden presentarse en la integración vertical.

## E. Reflejos de carga de trabajo anual

Las mediciones de producción pueden indicar la cantidad de trabajo hecho durante un año u otro período para el cual se está desarrollando una medición. Si los productos con un ciclo de tiempo prolongado, mayores a un año, son cuantificados sólo al concluir el año, los resultados de los índices de producto y productividad son probablemente erráticos y sin sentido. Por ejemplo: si se requieren 5 años para construir un barco, será impropio reportar la producción de un barco en el quinto año y cero producción (es decir, trabajo no ejecutado) en el transcurso de los primeros 4 años. Una forma de manejar lo anterior es dividir el trabajo por etapas a fin de tener identificado el mejor grado requerido para completar el producto y poder contar el número de etapas completas cada año hasta llegar al producto final.

### II.7.2 Desarrollo de Mediciones de Productos mediante "Cantidades Físicas" Técnicas

#### II.7.2.a Ponderaciones

Con el enfoque de "cantidades físicas", los productos son cuantificados y combinados para desarrollar una medición total de la unidad organizacional.

En el más sencillo de los casos (una organización que produce sólo un servicio o producto) simplemente convierte las cantidades para este servicio o producto en forma de índice. Se selecciona un año de referencia y se expresa cada cantidad por año en relación a ese año seleccionado, como se muestra a continuación:

#### INDICE DE CANTIDADES FISICAS PARA LA INDUSTRIA DEL CARBON BITUMINOSO

AÑO	CANTIDADES (Millones de Toneladas)	INDICE (1977=100)
1977	691.3	100.0
1978	655.1	96.2
1979	776.3	112.3
1980	823.6	119.1
1981	818.4	118.4
1982	829.2	119.9

Sin embargo, raramente encontramos organizaciones que producen sólo un producto o servicio, así que enfrentamos el problema de cómo combinar un grupo de productos heterogéneos dentro de una medición total para la entidad.

Estos casos nos llevan a la medición o a la determinación de la importancia relativa apropiada para cada indicador de producto por separado.

La primera pregunta que se debe responder al seleccionar las ponderaciones es ¿cuál es la finalidad de que sean desarrolladas estas mediciones de producto? y dependiendo de la respuesta a esta pregunta el sistema de ponderación podrá variar.

Lo que se pretende es combinar la variedad de productos en términos de los requerimientos en el año base del factor, que es el insumo en la medición de la productividad.

En las relaciones siguientes, vemos la representación algebraica de la medición de la productividad del trabajo que fue desarrollada usando una medición de producto con requerimientos ponderados la unidad de trabajo.

Observaciones: 1) esencialmente se está convirtiendo el producto en un equivalente de horas-hombre, y 2) que esto puede ser igualado con el índice de horas-hombre expresadas en manera similar.

$$\text{Indice de Productividad} = \frac{\text{Indice de Producción}}{\text{Indice horas-trabajadas}}$$

Indice de Productividad

(Indice de Producción)

(Indice de Horas-empleado)

$$P_i = \frac{l_0 q_i}{l_0 q_0} \div \frac{l_1 q_i}{l_0 q_0}$$

Donde:

- lo = Requerimientos de unidad de trabajo en el año base (mano de obra).
- li = Requerimiento de unidad de trabajo en el año corriente (mano de obra).
- qo = Cantidad año base.
- qi = Cantidad año corriente.

#### ELABORACION DE PONDERACIONES

1. Requerimiento de Mano de Obra  
Horas ÷ Cantidad de producción
2. Costo de Mano de Obra  
Compensaciones ÷ Cantidad de producción
3. Valor Unitario Agregado  
Valor agregado ÷ Cantidad de producción
4. Valor Unitario  
Valor ÷ Cantidad de producción

En el cuadro anterior, se observa que la elaboración de ponderaciones está basada en las aproximaciones establecidas por ponderaciones sustitutas para los requerimientos de unidad laboral en términos de proporcionalidad entre los productos o servicios.

Los datos en general son insuficientes para desarrollar los componentes de una medición de producto, como el caso de las ponderaciones de requerimientos de unidad laboral. Hay que tratar de adaptar los existentes lo más cercano posible al ideal establecido.

En el cuadro vemos como las ponderaciones elaboradas no se obtienen al nivel de detalle del producto, pues se encuentran en un nivel de agregación más alto. Así que usamos ponderaciones sustitutas a nivel detallado e introducimos el trabajo ponderado en el nivel más agregado, lo que ocasionará limitaciones al concepto ideal (de una medición de trabajo ponderada) en el nivel total.

En el cuadro siguiente, vemos una cantidad física típica de trabajo donde se están ponderando las cantidades de un



grupo de productos con mediciones de requerimientos de unidad laboral RUL.

Observación: una bota requiere cerca de 8 veces más trabajo que el requerido para hacer una pantufla.

Cabe señalar que en la mayoría de los índices, usamos año base o ponderación tipo LASPEYRE para desarrollar el índice de producto, primordialmente porque no tenemos ponderaciones anuales. Esto lo actualizamos cada cinco años; así que para cualquier año dado, las ponderaciones reflejan la tecnología de un pasado cercano. Esto podría ser considerado como una alternativa razonable para arrojar un índice LASPEYRE puro o un índice Paasche puro.

#### DOS SISTEMAS DE NIVEL DE PONDERACION

Primer Nivel	Segundo Nivel
-----	-----
Productos	
V.U. ponderado	Trabajo Ponderado (horas totales para cada serie).
GRUPO I    A	
B            Índices	Índice de Producto
C	
V.U. ponderado	
GRUPO II    A	
B            Índices	
C	
D	
V.U. ponderado	
GRUPO II    A	
B            Índices	

Lo anterior se ilustra en el ejemplo siguiente, el cual muestra cómo los segmentos de tiempo individuales son eslabonados juntos por consistencia estadística.

## INDUSTRIA DEL CALZADO (CLASE 314)

### INDICES DE PRODUCCION PONDERADOS EMPLEADOS POR UNIDAD

TIPO DE PRODUCTO	CLASE	1972 HORA EMPLEADA POR UNIDAD	PRODUCCION NO PONDERADA			PRODUCCION PONDERADA (Lo Q.)		
			1972	1973	1974	1972	1973	1974
		(1)	(2)	(3)	(4)	(1) X (2)	(1) X (3)	(1) X (4)
Zapatos casuales y de vestir para hombre.	31431	731	78184	75347	53257	57153	55079	48669
Zapatos de trabajo para hombres.	31433	727	35331	28594	27185	25686	20788	19783
Botas para hombre.	31434	1.001	13047	14819	14416	13060	14834	14430
Zapato de mujer bajo.	31441	507	38870	35242	32401	19707	17888	16427
Zapato de mujer tacón bajo.	31442	528	88885	74847	70172	46831	39519	37051
Zapato de mujer-tacón-medio.	31443	699	42203	58729	51398	33694	41052	35627
Zapato de mujer-tacón alto.	31444	577	6161	5317	8338	3555	3068	4811
Botas de mujer.	31445	687						
Zapatos para jóvenes y niños.	31491	526	11054	5181	4746	7594	33559	3261
Zapatos para señoritas y niñas.	31492	431	23301	22072	17956	12256	11610	9445
Zapatos para bebés y niños.	31493	311	48248	41263	36381	20795	17784	15680
Otros.	31493	339	26320	25225	23797	8186	7465	7401
Pantuflos.	3142	127	10779	12231	12306	3654	4146	4172
Produc. total ponderada			98272	91166	85502	12481	11578	10859
Índice 1972 = 100 0						264752	248730	229186
						100.00	93.95	86.57

**ESLABONAMIENTO PARA UN CAMBIO  
EN LAS PONDERACIONES**

ESLABONAMIENTO PARA UN CAMBIO EN LAS PONDERACIONES			
	1967	1972	
AÑO	PONDERACIONES	PONDERACIONES	INDICE ESLABONADO
1977	100		100.0
1988	120.0		120.0
1969	140.0		140.0
1970	160		160.0
1971	180.0		180.0
1972	200.0	100.0 50%	200.0
1973	—	150.0 20%	300.0
1974	—	180.0	360.0
Para 1973:	Sumar el cambio porcentual 1972-1973 (50 por ciento) al índice base 1972 en las ponderaciones de 1967. $1.50 \times 200 + 200 = 300$		
Para 1974:	Sumar el cambio porcentual 1973-1974 (20 por ciento) a el índice para 1973. $1.20 \times 300 + 300 = 360$		

FIGURA 11.8

## II.7.2.b Método del Valor Deflactado

En este punto, la discusión está enfocada en medición de cantidades físicas. Sin embargo, algunas veces los datos de cantidades físicas no se pueden obtener, mientras que los valores y precios corrientes sí son factibles. Al usar valores técnicos deflactados, esto es, eliminando el efecto de cambio en los precios de las series de valores a través del tiempo, podemos obtener una medida real del producto, como alternativa para ponderar cantidades físicas.

La equivalencia de esas 2 técnicas se muestra en la gráfica siguiente:

### EQUIVALENCIA DE VALOR DEFLACTADO E INDICES DE PRODUCCION DE CANTIDADES FISICAS

-----  
Valor de Deflactación

Indice de Valor — Indice de Precio — Indice de Producción

$$\frac{P_i Q_i}{P_o Q_o} \div \frac{Q_i P_i}{Q_i P_o} = \frac{P_o Q_i}{P_o Q_o}$$

Cantidades Físicas

$$\frac{P_o Q_i}{P_o Q_o}$$

El requisito para esta técnica es adecuar la cobertura de precio o una partida de los índices de precios con los datos del valor que se deflactan. Para muchas áreas de servicios, se utiliza un valor deflactado por la falta de datos.

## II.7.2.c Eslabonamiento

El eslabonamiento puede ser descrito brevemente como un ajuste a los indicadores de una serie estadística por tener menor exactitud que otra serie basada en indicadores más reales.

Por ejemplo: El Índice anual de producto normalmente se ajusta por niveles censales. Los datos del censo quinquenal proporcionarán más información que los anuales.

1. Los datos anuales pudieran estar basados en una muestra o pudieran no ser exactos.
2. Esto permite ajustar el índice para la producción de productos secundarios. El producto exacto en el índice anual puede incluir sólo los productos primarios.
3. También puede verse en la perspectiva del uso de las series anuales para interpolar entre dos cursos anuales.

Los índices se obtienen de empresas individuales y después se clasifican con base en la industria que tiene mayor venta de productos. Por ejemplo: Si las ventas de un establecimiento son derivadas del 75% de productos de acero y 25% de productos de aluminio, la empresa es clasificada en la industria del acero. El acero está considerado como "primario" para esta empresa y el aluminio como "secundario". Generalmente los datos para productos primarios se obtienen bajo el principio "hecho en cualquier parte" (es decir, los productos primarios de una industria hechos en empresas clasificadas dentro de esta industria más los productos primarios de esta industria hechos en empresas clasificadas en otras industrias).

Productos Primarios A	Productos Primarios B
Productos Secundarios C	

- A = Productos primarios hechos en la industria.  
 B = Productos primarios hechos en otras industrias.  
 C = Productos secundarios hechos en la industria.

Si la cantidad anual de índices para una industria están bajo el principio "producto primario" (PP) hecho en cualquier parte (rectángulos A y C) y sus horas anuales están en una base "industrial" (rectángulos a y b), existe un problema potencial sí:

a) La razón siguiente cambia:

PP hecho en la industria

PP hecho en cualquier lugar

b) Si los datos de productos secundarios no se encuentran disponibles y su índice de producto anual está basado únicamente en producto primario (PP), y la proporción industrial de PP para el total de las remesas cambia.

En el caso de (a), una porción más grande (o más pequeña) de los productos primarios se hace por el establecimiento clasificado en la industria. De ese modo, el índice de productos no reflejará correctamente los movimientos de producción de esos establecimientos industriales.

Similarmente (b), si los productos secundarios están cambiando como un por ciento de los productos primarios hechos en la industria, y estamos careciendo de indicadores específicos en los productos secundarios, el uso de una medición de productos primarios como un sustituto para la medición combinada deseada, de primarios y secundarios, podría producir resultados incorrectos.

Este problema puede ser pensado como una muestra de consistencia estadística entre el numerador y denominador de la razón de productividad, falseando dicho aspecto, como resultado de la medición.

#### II.7.2.d Insumo Laboral

Ahora procedamos a examinar algunos conceptos fundamentales del desarrollo de la medición del Insumo Laboral.

1. Este insumo debería ser tan amplio como fuera posible, tal que incluyera todo el trabajo que está asociado con los productos de la organización. Los tipos directos e indirectos, tales como, los trabajadores ligados o no directamente al proceso productivo, también los trabajadores que no son clasificados como empleados.

2. Pagado contra trabajado. Todas las mediciones de horas de trabajo tanto para el sector público como para el privado, están basadas en un concepto de hora pagada. Se prefiere una base de "horas trabajadas" porque conceptualmente las horas trabajadas son parte del proceso de producción y de los productos que se están midiendo. Si el efecto del número de horas pagadas pero no trabajadas, como son vacaciones y permisos por enfermedad, no es grande, ambas series podrían producir la misma tendencia en porcentaje.
3. Las horas son tratadas como homogéneas, esto es, todas las horas son tratadas como si fueran iguales. Es preferible ponderarlas en orden para determinar el impacto de los cambios en la composición y la calidad de la fuerza de trabajo en la medición de la productividad.

El análisis puede ser separado en dos categorías:

Metodológico = un análisis de la validez estadística de la medición.

Sustantivo = un análisis de los factores que afectan las tendencias en producción horas-hombre y productividad.

**METODOLOGICO.** Es esencial que las mediciones representen exactamente lo que está sucediendo en la industria.

1. Producto primario para nuevas mediciones industriales.
  - a) Documentar nuestro examen de los índices y el desarrollo de las mediciones.
  - b) Examinar el porcentaje del producto primario (PP), hecho en la industria (razón de cobertura), y el porcentaje de PP para el total y el producto secundario hecho en la industria (razón especializada). Ambas razones serían mayores y mostrarían pequeños cambios a través del tiempo. Esta consistencia estadística de producción y de horas-hombre es importante.
  - c) Si los analistas usan fuentes de indicadores secundarios, podrían tener contactos con datos de asambleas, de organizaciones, de modo que se verifiquen los movimientos irracionales en los indicadores. Por ejemplo: si la producción de acero baja cuando el resto de la producción económica sube, se podrá sospechar el problema por los datos. El problema es más agudo cuando son por producto e insumo, puesto que pueden ocurrir diferencias en la clasificación de los establecimientos.

## 2. Análisis similares hechos por anexos anuales.

### SUSTANTIVO.

- a) Un estudio del crecimiento de la productividad podría incluir ambos análisis a largo y a corto plazo. El análisis a largo plazo revela tendencias seculares, mientras que los movimientos a corto plazo reflejan efectos cíclicos y generalmente son asociados con cambios en la producción. Los cambios a largo plazo son reflejos de la tecnología, inversión de capital y características de la fuerza de trabajo. Los movimientos a corto plazo son afectados por cambios en la demanda, huelgas, y en el tiempo, entre otros.
- b) De igual forma que en el análisis metodológico, el analista debe tener conocimientos de la industria.
- c) Dado que muchos factores impactan en los movimientos de la productividad y los indicadores no son obtenibles sin esfuerzo, no podemos decir específicamente que la contribución exacta de algunos de los factores son ejemplo de tecnología y porcentaje y difusión.

### II.7.3 Ejemplo. Informe Metodológico y Análisis de Indicadores de Productividad del Sector Económico denominado "Industrias Básicas del Hierro y del Acero"

#### II.7.3.a Definición de la Actividad

La Industria Siderúrgica está integrada por varias actividades, las cuales son:

- Fundación y Laminación de Hierro y Acero.
- Laminación Secundaria de Hierro y Acero.
- Producción de Tubos y Postes de Hierro y Acero.

El presente trabajo se desarrolló con base en actividades anteriores, las cuales se encuentran clasificadas en la Encuesta Industrial Anual como 3411, 3412 y 3413 respectivamente. La rama del acero se identifica con los 3 primeros dígitos 341. Se consideraron las tres clases de la rama del acero, con la finalidad de ver el comportamiento global en dicho sector.



## II.7.3.b Metodología Aplicada

### a) Índice de Producto

De cada una de las clases se tomó el índice de producto para cada año del período 1972-1985.

Los años base fueron 1972, 1977 y 1982, en los cuales se calculó el valor unitario, que se multiplicó por el índice del producto para obtener el Índice de Productos Ponderados (cuadro 1).

### b) Índice Eslabonado

Se dividió el período de estudio en 3 segmentos (1972 a 1977, de 1977 a 1982 y 1982 a 1985).

El Índice Eslabonado se obtuvo sacando el cambio porcentual de cada año a partir del segundo segmento, ya que los índices de producción ponderados del primero se pasan a la columna del índice eslabonado, sin sufrir modificación alguna; el cambio porcentual se obtiene de dividir el índice de producción entre el año anterior y se multiplica por el índice eslabonado del año inmediato anterior; de igual manera, se obtienen los índices eslabonados de los años siguientes (cuadro 2).

### c) Índice Laboral

Se tomó para cada clase el total de horas y el total de personal ocupado para el período 1972-1985.

En cada año se sacó el índice horas totales y personal ocupado total (cuadro 3).

### d) Índice de Productividad

El índice de productividad se obtuvo del cociente del índice de producción entre el índice de horas total. Y del cociente del índice de producción entre el índice de personal ocupado total (cuadro 4).

### II.7.3.c Análisis de Resultados

La productividad de la Industria Siderúrgica ha tenido un comportamiento variable durante el período 1972-1985.

Al inicio de este período, se incrementó la demanda de productos siderúrgicos y sus derivados, lo que hizo que aumentara la actividad de esta industria hasta el año 1974, con su consecuente aumento en el número de personal, horas trabajadas y productividad (figura II.4).

En 1975 y 1976, al disminuir la actividad económica del país por diversos factores (devaluación y cambio sexenal), disminuyó también la producción y, por ende, la productividad del ramo. Cabe aclarar que en ese entonces la industria se estaba preparando para poner en funcionamiento la Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas y se realizaban ampliaciones en Altos Hornos de México, lo que propició que antes de terminar 1976 se contara con más personal en el sector.

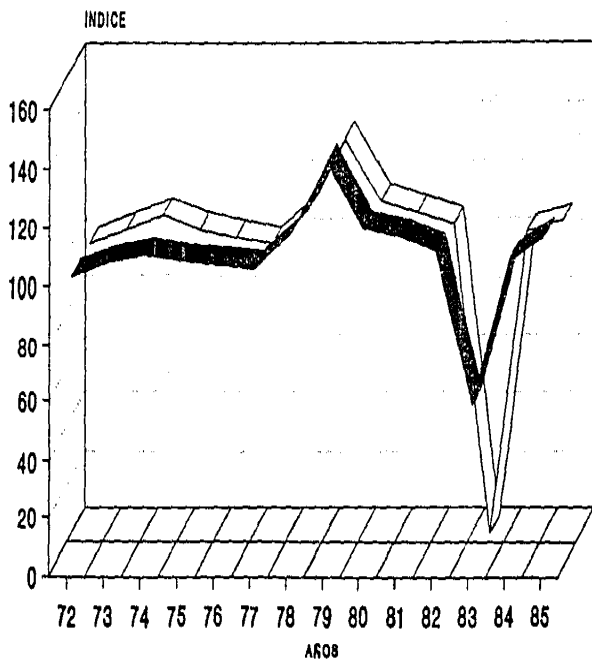
Para 1977, creció fuertemente la economía propiciado por el "Boom" petrolero, por lo que este sector en su conjunto incrementó en forma acelerada su actividad, aumentando su producción a fin de hacer frente a la creciente demanda que se presentó hasta 1981.

Derivado del crecimiento económico de 1978 y 1979, el cual se consideraba duradero, originó diversas inversiones en el ramo, por lo que al aumentar el personal, disminuyó la productividad laboral, manteniéndose entre 1980 y 1981.

Con la devaluación de 1982 y la drástica caída del PIB (-5.3%), la actividad económica en 1983 implicó que el sector se viera en la necesidad de reducir su personal, así como limitar sus actividades de operación por la contracción del mercado, mostrando de nuevo una baja en la productividad.

Con el repunte de la actividad económica en 1984 (el PIB creció en 3.7%), la producción se incrementó un 15.1% mientras que el empleo creció un 1.1%, lo que se reflejó en el incremento de la productividad de ese año.

# INDICE DE PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA



 HORAS PERSONAL     PERSONAL

# RAMA DEL ACERO (CUADRO 1)

CLASE 341	ÍNDICE DE PRODUCTO								ÍNDICE DE PRODUCTO							
	NO PONDERADO								PONDERADO							
	11	12	13	14	15	16	17		10	11	12	13	14	15	16	17
	VALOR LÍMITE	1972	1973	1974	1975	1976	1977		1972	1973	1974	1975	1976	1977		
3411	28 867	102	108 7	115 6	119 4	120 8	128 7		2788 703	2767 352	2712 025	2742 845	2746 040	2788 442		
3412	94 787	100	111 5	122 0	123 4	119 7	121 2		8 479 753	8 748 858	8768 294	8791 855	8789 291	8795 880		
3413	15 462	100	101 2	113 1	116 9	121 4	142 4		1546 320	1768 288	1767 021	1804 794	1822 228	2 748 481		
								ÍNDICE	100 0	87722 488	1748 785	1789 884	11821 479	12 808 884		
									100 0	109 4	128 8	121 2	120 5	127 5		
		1977	1978	1979	1980	1981	1982		1077	1079	1079	1080	1081	1082		
3411	42 178	100 0	126 4	128 8	128 6	126 3	127 8		4713 802	3721 298	6 432 528	6 488 288	6748 881	6781 813		
3412	82 851	100 0	138 6	204 4	253 2	258 0	141 6		8732 165	8712 797	12887 024	8789 413	8725 868	8789 881		
3413	18 573	100 0	126 4	129 4	127 6	123 4	148 8		1857 223	2747 027	2 482 248	2555 845	2948 088	2728 254		
								ÍNDICE	100 0	121 6	167 4	142 8	148 8	137 3		
		1982	1983	1984	1985				1082	1083	1084	1085				
3411	83 401	100 0	98 6	105 6	104 1				6780 103	6717 357	6 885 288	6 879 884				
3412	75 886	100 0	88 3	113 4	112 8				7588 025	7 428 885	8759 285	8732 871				
3413	25 282	100 0	78 9	88 7	88 7				2529 285	1784 854	2521 812	2 712 814				
								ÍNDICE	100 0	94 2	108 5	105 5				

7/17

FIGURA II.8

## RAMA DEL ACERO (CUADRO 2)

ESTABLAMIENTO DE INDICES									
CLASE 341		CLASE 3411							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	INDICE		INDICE			INDICE		INDICE PROD.	
	PRODUCTO		PRODUCTO			PRODUCTO		ENLAZADO	
	(1972 = 100)		(1977 = 100)			(1982 = 100)		(1972 = 100)	
1972	100							100.0	
1973	108.4							108.4	
1974	118.8							118.8	
1975	121.2							121.2	
1976	126.5							126.5	
1977	127.5		100.0					127.5	
1978			131.8					167.8	
1979			167.4					213.4	
1980			142.8					182.0	
1981			148.8					188.8	
1982			137.3			100.0		175.0	
1983						84.2		164.8	
1984						108.5		188.8	
1985						105.5		184.8	

54

FIGURA 11.0

# RAMA DEL ACERO (CUADRO 3)

CLASE 341														
	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
	HORAS - TOTALES													
INDUSTRIA	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
3411	28 887	31 548	33 783	36 188	37 383	42 178	48 284	47 244	48 227	56 228	63 851	62 884	61 818	43 518
3412	54 797	56 788	57 887	59 165	59 261	63 881	68 841	74 782	75 878	77 888	78 888	78 884	78 822	72 857
3413	15 482	15 982	17 081	18 148	18 787	18 873	20 488	22 276	24 888	25 848	25 282	26 784	24 822	22 848
TOTAL	98 916	104 108	108 471	113 438	115 861	123 822	138 211	145 282	148 881	158 442	158 848	162 272	161 882	138 882
INDICE	100.0	105.2	108.8	114.7	117.1	125.2	137.7	146.9	151.8	160.2	158.2	162.8	162.5	140.8
	PERSONAL - OCUPADO TOTAL													
3411	12 234	13 178	14 284	15 228	15 888	16 882	18 778	20 888	21 882	24 878	27 473	27 882	27 881	18 778
3412	21 887	22 888	23 114	23 882	24 227	26 152	28 852	30 782	31 881	32 284	31 484	30 882	31 284	31 887
3413	8 882	8 888	7 234	7 884	8 188	8 188	9 088	9 822	10 288	11 881	12 788	12 222	10 887	9 882
TOTAL	48 888	42 888	44 284	46 881	48 282	52 881	57 881	61 288	64 277	67 418	68 712	62 878	64 284	61 284
INDICE	100.0	104.6	108.8	118.5	118.8	128.8	142.1	148.8	158.7	168.7	161.8	158.2	158.8	148.8

46

FIGURA 11.7

## RAMA DEL ACERO (CUADRO 4)

CUADRO RESUMEN BASE 1972					
CLASE: 341		CLASE DE ACTIVIDAD 3411, 3412, 3413			
1	2	3	4	5	6
	INDICE DE	INDICE	INDICE DE	PRODUCTIVIDAD	
	PRODUCCION	HORAS-TOTALES	PERSONAL	PRODUCTO	PRODUCTO
AÑO	PRODUCCION	HORAS-TOTALES	OCUPADO TOTAL	HRS.-PERSONAL	PERSONAL
1972	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1973	108.4	105.2	104.4	103.0	103.8
1974	118.8	109.6	109.5	108.4	108.5
1975	121.2	114.7	115.5	106.7	104.9
1976	120.5	117.1	118.8	102.9	101.4
1977	127.5	125.2	129.8	101.8	98.2
1978	164.7	137.7	142.1	119.6	115.9
1979	209.5	146.9	150.9	142.6	138.8
1980	178.7	151.5	158.2	117.9	112.9
1981	186.3	160.2	165.7	116.3	112.4
1982	171.9	156.2	161.5	110.0	106.4
1983	147.2	152.0	156.3	98.8	94.2
1984	169.4	153.3	158.0	110.5	107.2
1985	164.8	140.5	150.6	117.3	109.4

Para 1985, el mercado continuaba contraído, obligando al sector a disminuir aún más su personal en un 4.6%, factor que fue mayor aún que la disminución del 2.7% de la producción, por lo que la productividad continuó mostrando aumento en sus valores.

## **II.8 El Enfoque de sistemas de Producción**

El concepto de sistemas ha llegado a ser de uso común en los estudios administrativos de la producción y de las operaciones. Dentro de este contexto, se refiere a todos los trabajos que contienen elementos o datos por procesar y al modo de usarlos, de crear valores y que den por resultado un rendimiento. Y aunque los sistemas de producción varían en las diversas industrias y empresas, hay un factor común a estas diferentes aplicaciones que consiste en considerar a los organismos como conjuntos totales operantes que contienen componentes o subsistemas algo desiguales y que han de funcionar, tanto por sí mismos como en función de partes del sistema total.

En la organización de la producción, el concepto de sistemas tiene relación, tanto con el caudal de información como con los subconjuntos de actividades que es preciso ejecutar y coordinar para que el organismo produzca. Las corrientes de información fluyen a los subsistemas y estimulan ciertas actividades. Estas engendran resultados, o sea, producción; por eso sale a luz la información resultante. Cada subsistema opera de un modo lógico, no sólo internamente, sino como parte del total. Tanto el trabajo ejecutado en realidad como el sistema correspondiente de flujo de información necesitan funcionar como partes coordinadas de un solo sistema de flujo administrativo.

En los organismos de la producción, es preciso que el hombre construya el sistema informativo que vincule a todos los subconjuntos de sistemas de operaciones. La meta es hacer llegar la información a las personas apropiadas, y éstas, a continuación, deben hacer lo que es preciso que hagan; es indispensable que la información que va de un departamento a otro sea compatible, para que cada persona reciba la que necesite de la manera en que pueda usarla. Hoy día las computadoras pueden manejar a todos los departamentos o áreas de la empresa como partes de un solo sistema unificado.



Los sistemas no siempre tienen que ver con el funcionamiento continuo de la empresa en marcha. Los "sistemas" pueden consistir en una manera metódica de formular planes y de coordinar el trabajo requerido para llevar a cabo un solo proyecto complejo.

Puesto que los sistemas integrados contienen el caudal de información que recorre todo el organismo, un departamento central de sistemas puede integrar la corriente de información. Cuando llega una orden de ventas puede registrarse inmediatamente con el nombre del cliente, los artículos que pide, cuándo los necesita, dónde quiere que se le envíen y todos los demás datos por el estilo, todo en tarjetas tabuladas o en cintas magnéticas. Luego, la computadora puede empezar a tramitar la orden. Puede hacer comprobaciones que indiquen qué artículos han de enviarse inmediatamente y cuáles tendrán que fabricarse o comprarse.

La computadora puede formular todos los diversos documentos vinculados con la orden. Emite información y órdenes a muchos departamentos y a cambio recibe informes. Sin embargo, en cada caso, en el diseño y en la masa de detalles de las instrucciones e informes, se toma en cuenta, tanto al departamento interesado como a todo lo que necesitan otros departamentos.

Los sistemas y los procedimientos no son del todo la misma cosa. Los "sistemas" abarcan una extensión mayor. Por ejemplo, formular toda la cuenta de un cliente (factura) es un procedimiento; tiene un límite, ya que el interés radica sólo en la factura, y generalmente se refiere a uno o dos departamentos. Si sólo se estudia la manera de hacer una factura, probablemente se dejaría de ver cómo encaja en el panorama más extenso, o sea, en todo el sistema.

## II.9 Modelos de Sistemas de Producción

Los modelos de sistemas de producción son:

- 1.- La línea adaptada al ritmo de la máquina.
- 2.- La línea adaptada al ritmo del trabajador.
- 3.- El proceso automatizado.
- 4.- La concentración de operaciones afines.
- 5.- El grupo por proceso diversificado.
- 6.- El grupo en las actividades de construcción.
- 7.- El grupo en el sector servicios.

### II.9.1 La línea adaptada al ritmo de la máquina

Es un sistema de producción en el cual, la manipulación de los materiales está sumamente mecanizado, la circulación de éstos y la organización de trabajo están completamente subordinadas a un sistema técnico. El ejemplo clásico de éste tipo de organización es el montaje final de los automóviles en una cadena de cadencia fija y hasta hace pocos años todavía era el único método que se utilizaba para el montaje de productos que se caracterizan por el movimiento de un elevado volumen de materiales.

Algunas desventajas que tiene este sistema son: los trabajos individuales están estrictamente limitados y el ritmo de trabajo está totalmente condicionado por el sistema técnico, por lo que está excluida la posibilidad de un auténtico trabajo en grupo. Existe la extrema vulnerabilidad de las líneas en cuanto se desmejora la situación.

Entre las ventajas se pueden mencionar la utilización eficaz del espacio, de las máquinas y del equipo auxiliar y, por consiguiente, la eficiencia conseguida gracias a una división de trabajo y una especialización extremas.

LÍNEA ADAPTADA AL RITMO DE LA MÁQUINA

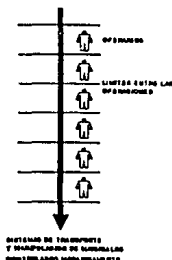


Figura II.9

## II.9.2 La línea adaptada al ritmo del trabajador

Es un sistema de producción que cuenta con almacenes o espacios intermedios que permite adaptar el ritmo de trabajo individual en una forma que sería imposible con la cadena de montaje. Es un sistema donde el control es menos rígido y permite que dentro de una tarea colectiva formada por funciones individuales, los operarios se ayuden mutuamente, superen las anomalías de funcionamiento, nivelen los altibajos en el volumen de trabajo que les llegue y puedan esforzarse por obtener un buen resultado común.

Este tipo de organización funcional es comúnmente utilizado en muchas empresas como por ejemplo, en la confección y en la metalurgia.

LÍNEA ADAPTADA AL RITMO DEL HOMBRE

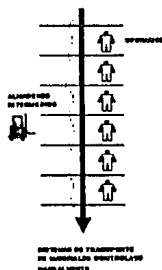


Figura II.10

### II.9.3 El proceso automatizado

Es un sistema en el cual todas las tareas del proceso son ejecutadas automáticamente, y al trabajador le corresponde primordialmente la función de vigilancia.

En la organización de trabajo existe la posibilidad de agrupar las tareas de manera interesante para los trabajadores, sin embargo, uno de los factores que a veces dificultan la colaboración dentro del grupo es la lejanía de sus integrantes. Otro problema que se presenta con este tipo de proceso es que cuanto mayor es el grado de automatización, hay menos trabajadores en la producción, mientras que el número de personas de mantenimiento aumenta casi en la misma proporción que disminuye en la producción.

Este tipo de proceso es comúnmente utilizado, sobre todo en la siderurgia, en las industrias químicas y en la del papel.

PROCESO AUTOMATIZADO

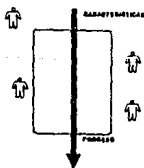


Figura II.11

#### II.9.4 La concentración de operaciones afines (distribución funcional)

Este sistema consiste en agrupar las máquinas de manera que las de cierto tipo estén concentradas en un mismo departamento, y así todas las máquinas; de modo que las operaciones queden concentradas en un solo lugar (distribución funcional). En este caso el producto en fabricación va circulando por todas las áreas como pueden ser: taladrado, torneado, fresado, lijado, pintura, etc.

Este tipo de concentración por operaciones es frecuentemente utilizado en la producción por lotes, donde las series son cortas y los productos variados.

Con este sistema, el trabajador está supeditado a su propia tarea y puesto de trabajo, por lo que resulta casi imposible organizar grupos de trabajo.

CONCENTRACION DE OPERACIONES AFINES

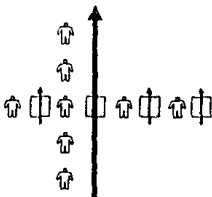


Figura II.12

### II.9.5 El grupo en las actividades de construcción

En este método de producción, el producto es el eje de toda la organización, que está estructurada en torno al mismo. Estos sistemas de organización de trabajo se utilizan en la fabricación de productos de grandes dimensiones como por ejemplo: turbinas, barcos, maquinaria pesada, etc.

GRUPO DE LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION

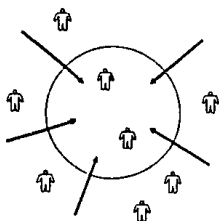


Figura II.13

## II.9.6 El grupo en el sector servicios

El concepto de las empresas del sector servicio difiere por bastantes causas de las estudiadas hasta el momento, sin embargo, dentro de las empresas de producción existen funciones propias de los servicios, como podría ser las actividades de reparación y mantenimiento dentro de las industrias manufactureras.

Las funciones de servicio de una unidad de producción tienen que poder adaptarse estrechamente a las necesidades de cada caso, las que generalmente exigen tareas de naturaleza variable; y tratándose de una organización por grupos es más fácil amortiguar gran parte de estas variaciones.

GRUPO DEL SECTOR SERVICIO

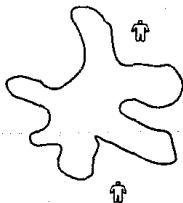


Figura II.14

## II.9.7 El grupo por proceso diversificado

Este sistema viene a ser la combinación del proceso en línea y el de agrupación por proceso diversificado, lo cual da como resultado un sistema intermedio debido a que en muchos casos las condiciones en que se efectúa la producción no permite ajustarse totalmente a uno u otro sistema. La producción se concentra de una manera que corresponde sobre todo al movimiento de la línea de producción, pero, a fin de poder combinar las tareas, algunas fases fundamentales del proceso se repiten dos veces o más. De esta forma se obtiene un sistema que permite combinar, con gran eficacia, la capacidad del sistema en línea para percibir y canalizar un gran volumen de materiales y, a la vez, la capacidad de la agrupación por funciones para ejecutar todas las secuencias concebibles de operaciones sin adaptar previamente la instalación.

La agrupación por proceso diversificado induce a los trabajadores a la autoadaptación espontánea, ya que la división de trabajo entre los operarios se debe adaptar a la variación de las condiciones que sean necesarias. El trabajo en grupo resulta excelente en esta organización.



## CAPITULO III

TECNICAS DEL ESTUDIO  
DEL TRABAJO Y SUS CAMPOS  
DE APLICACION

### III. TECNICAS DE ESTUDIO DEL TRABAJO Y CAMPOS DE APLICACION

#### III.1 Técnicas de Estudio del Trabajo

En la definición de Estudio del Trabajo se mencionó, primeramente, que era un conjunto de técnicas; básicamente son dos:

- Estudio de Métodos
- Medición del Trabajo

A su vez, cada una de estas técnicas, durante su desarrollo hace uso de otras técnicas o métodos.

Debido a que la primera técnica es de vital importancia dentro de la Ingeniería Industrial será tratada en el siguiente capítulo, por el momento sólo se dará su definición y se explicará en forma más amplia la segunda técnica, mostrando su relación con la primera.

EL ESTUDIO DE METODOS ES EL REGISTRO Y EXAMEN CRITICO SISTEMATICO DE LOS MODOS EXISTENTES Y PROYECTADOS DE LLEVAR A CABO UN TRABAJO COMO MEDIO DE IDEAR Y APLICAR METODOS MAS SENCILLOS Y EFICACES Y REDUCIR LOS COSTOS.

Esta definición nos presenta de una manera concisa el objetivo y los medios de esta técnica.

LA MEDICION DEL TRABAJO ES LA APLICACION DE TECNICAS PARA DETERMINAR EL TIEMPO QUE INVIERTE UN TRABAJADOR CALIFICADO EN LLEVAR A CABO UNA TAREA DEFINIDA, EFECTUANDOLA SEGUN UNA NORMA DE EJECUCION PREESTABLECIDA.

Durante mucho tiempo la Medición del Trabajo se conoció como Estudio de Tiempos. En realidad, el Estudio de Tiempos es tan solo una técnica de la Medición del Trabajo.

Otras técnicas de la Medición del Trabajo, aparte del Estudio de Tiempos son:

- Muestreo de Trabajo
- Datos estándar y fórmulas de tiempo
- Sistemas de tiempos predeterminados en los movimientos

Con el Estudio de Métodos se trata de reducir los contenidos de trabajo suplementario y los tiempos improductivos.

La Medición del Trabajo, además de aplicarse para fijar normas de rendimiento, sirve para investigar y eliminar todo tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se realiza trabajo no habiendo causa justificada.

Como se ha observado, las causas de tiempos improductivos son más por parte de la dirección que por parte de los trabajadores (en la mayoría de los casos).

La experiencia ha demostrado que cuando se toleran los tiempos improductivos por parte de la dirección (falta de material, falla de máquinas, etc.,) los trabajadores se desaniman y aumenta el tiempo improductivo imputable a ellos. En realidad esto no es del todo justificable, pero les permite tener una excusa para su comportamiento.

La eliminación de los tiempos improductivos de la dirección deberá hacerse antes de tratar de eliminar los de los trabajadores.

Los resultados de la Medición del Trabajo puede emplearse para:

- Comparar la efectividad de varios métodos en igualdad de condiciones; el mejor será aquél que lleve menos tiempo.
- Distribuir las tareas entre los equipos de trabajo con la ayuda de diagramas de actividades múltiples a fin de que siempre que sea posible, se dé a cada persona una tarea que lleve el mismo tiempo.
- Determinar por medio de diagramas de actividades múltiples (diagramas hombre-máquina), cuántas máquinas puede atender un operador, o bien, cuántos operadores son necesarios para atender una máquina.
- Obtener información en que basar los programas de producción, incluyendo datos acerca del equipo y de la mano de obra directa que será necesaria para cumplir el plan de trabajo y aprovechar la capacidad de producción.
- Obtener información en que basar los presupuestos de oferta, precios de venta y plazos de entrega.
- Fijar normas para la utilización de la maquinaria y mano de obra directa y también como una base para establecer un sistema de incentivos.

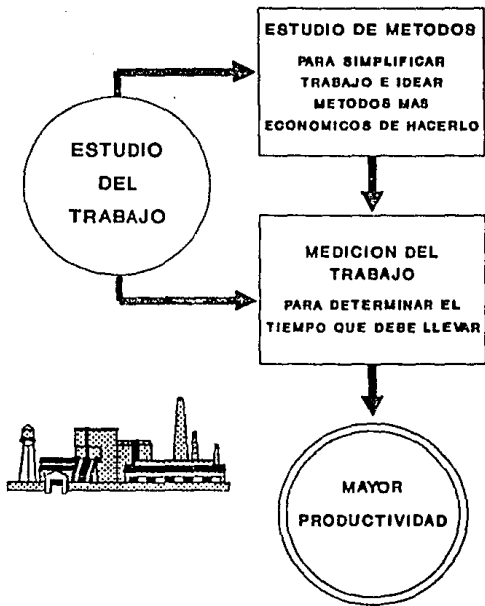


FIGURA III.1

80

- Obtener información que permita controlar los costos de la mano de obra directa y fijar y mantener costos irregulares.

### III.2 Campos de Aplicación del Estudio del Trabajo principalmente enfocado al Proceso Administrativo

El Estudio del Trabajo puede ser utilizado por cualquier área funcional dentro de una empresa. Estas funciones pueden clasificarse de una manera general en dos:

- Trabajo Industrial
- Trabajo Administrativo

Debido a que en el trabajo industrial resulta clara la aplicación del Estudio del Trabajo, conviene presentar en este punto un análisis breve del concepto "trabajo administrativo" y el servicio que le puede prestar al Estudio del Trabajo.

Cuando uno consulta con el diccionario en "administrar" encuentra: "dirigir los asuntos públicos o privados". En la actualidad, al hablar de trabajo administrativo, uno muchas veces se imagina el trabajo en oficinas de gobierno -la burocracia- las empresas de servicios y la sección o secciones de todas aquellas empresas productivas que no tienen que ver directamente con la producción de bienes. En parte, uno está en lo correcto, aunque no del todo.

El trabajo administrativo es esencialmente el manejo de información.

"Información" se toma en su sentido más general, es decir, todo aquello que puede ser llevado al conocimiento de alguien, independientemente del medio empleado (observación directa, por escrito, transmisión verbal, etc.).

Una información es la traducción de un hecho observado o de una idea formulada. Se ha dicho que una información era aquello que podía ser llevado al conocimiento de alguien, independientemente del medio empleado; sin embargo, el trabajo administrativo se ha desarrollado sobre todo con la escritura cuando el hombre ha tenido la posibilidad de consignar sus ideas, los hechos y las decisiones tomadas.

Esto no quiere decir que todo escrito sea un trabajo administrativo. El trabajo administrativo se presenta cuando se maneje información útil para la vida de un grupo, para la realización de un fin. Lo que interesa es el trabajo administrativo del grupo que constituye la empresa.

En resumen, se puede decir que el trabajo administrativo en una empresa, es el trabajo aplicado al manejo de la información necesaria para la vida de esta empresa, a la vez para su vida interna y para sus relaciones con el mundo exterior.

Un administrador toma decisiones para lograr un fin determinado. En la toma de esas decisiones sigue un método. Este método se materializa en un procedimiento administrativo y da lugar a trabajos administrativos, es decir, al manejo de informaciones.

El responsable administrativo es casi siempre gestor de un departamento.

Una característica del trabajo administrativo es el enorme desarrollo del mismo en los últimos años, debido al manejo de información de dos campos:

a) Del exterior de la empresa:

Esto se ha debido a la aceleración de las comunicaciones, que ha hecho explotar a los grupos cerrados y a la necesidad de seguir la información mundial, de consignarla y explotarla. El avance de la tecnología ha llevado a la necesidad incesante de un número mayor de informaciones, ya que dicha tecnología condiciona la vida de las empresas modernas.

b) Del interior de la empresa:

La organización del trabajo y los datos tecnológicos de producción han creado la división del trabajo, a veces en forma exagerada; este hecho ha requerido la multiplicación de las informaciones.

Resumiendo, se puede decir que en las diferentes operaciones que realiza la empresa existe:

- Concepción del trabajo
- Preparación del trabajo
- Realización
- Facturación

Y en todo ésto se encuentra involucrado el "trabajo administrativo".

En el trabajo administrativo los problemas más importantes por resolver son: asegurar a cada uno las informaciones necesarias y suficientes; asegurar la rapidez de transmisión de informaciones; elegir y adaptar las máquinas, utensilios y métodos de manejo que permitan un costo razonable de la información.

Todo ésto irá encaminado a mejorar la eficiencia en lo que respecta a la toma de decisiones de administrador.

Al igual que una buena organización se degrada con el tiempo y envejece, se puede también hablar de los defectos de la información:

- Información inutilizable por su abundancia excesiva
- Información inútil desde su creación
- Información inútil por la evolución de las necesidades
- Información inutilizable por la degradación de su valor
- Información redundante

El Estudio del Trabajo puede ser utilizado muy ventajosamente para ayudar a resolver los problemas en el manejo de información.

# CAPITULO IV

## ANALISIS DE LA OPERACION



#### IV. ANALISIS DE LA OPERACION

##### IV.1 Estrategias Fundamentales

Este capítulo trata de la etapa del procedimiento sistemático del Estudio de Métodos, es decir, el examen crítico sistemático.

Para estudiar esta etapa se puede hacer uso de dos técnicas:

- La técnica del análisis de la operación.
- La técnica del interrogatorio.

El análisis de la operación es un procedimiento sistemático que descompone una operación en varias consideraciones. Cada factor se examina críticamente y en detalle para descubrir la mejor forma conocida de ejecutar la tarea.

Podemos decir que un enfoque al problema de encontrar una mejor forma de realizar el trabajo consiste en someter la operación a preguntas específicas y detalladas.

Cuando varias personas interesadas en el trabajo se unen para considerar estas preguntas es posible obtener resultados más positivos.

Además de estudiar los movimientos utilizados al realizar una operación también es deseable considerar los materiales, las herramientas, los dispositivos, los aditamentos, el equipo de manejo de materiales, las condiciones de trabajo y otros factores que afecten el trabajo.

El encontrar una mejor forma no es siempre sencillo y se requiere de considerable imaginación, ingenio y habilidad inventiva.

El análisis de la operación estudia tanto los elementos productivos como los no productivos con el fin de mejorarlos. Este procedimiento es tan efectivo para la mejora de los centros de trabajo que ya se encuentran en operación, como en la planeación de nuevos centros.

En consecuencia, el Estudio de Métodos es una técnica que no tiene fin.

Se han desarrollado programas para el análisis de las operaciones que no son otra cosa mas que estrategias elementales del análisis de la operación:

- 1.- Finalidad o propósito de la operación.
- 2.- Diseño de la parte.
- 3.- Tolerancias y especificaciones.
- 4.- Materiales.
- 5.- Proceso de fabricación.
- 6.- Preparación y herramental.
- 7.- Condiciones de trabajo.
- 8.- Manejo de materiales.
- 9.- Distribución de planta y equipo.
- 10.- Principios de la economía de movimientos.

Algunos de los cuales ya se han tratado en capítulos anteriores y otras las trataremos individualmente a lo largo del capítulo; por lo pronto estudiaremos la otra técnica.

La técnica del interrogatorio es el medio de efectuar el exámen crítico, sometiendo sucesivamente cada actividad a una serie sistemática y progresiva de preguntas.

Al iniciar el análisis por medio de la técnica del interrogatorio lo primero que hacemos es preguntarnos por:

- El propósito con el cual.
  - El lugar donde.
  - La sucesión en que.
  - La persona por la cual.
  - Los medios con los cuales.
- } se hacen las actividades.

Después de dar respuesta a estas preguntas, se pregunta el "¿porqué?" a dicha respuesta para tratar de encontrar alguna justificación.

El objeto de este interrogatorio es

- Eliminar
  - Combinar
  - Reordenar ó
  - Simplificar
- } tales actividades

Después de ésto, pasamos a las preguntas de fondo que prolongan y detallan las preguntas preliminares:

Propósito	<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Qué se hace?</li><li>- ¿Porqué se hace eso?</li><li>- ¿Qué otra cosa podría hacerse?</li><li>- ¿Qué debería hacerse?</li></ul>
Lugar	<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Dónde se hace?</li><li>- ¿Porqué se hace ahí?</li><li>- ¿En qué otro lugar podría hacerse?</li><li>- ¿Dónde debería hacerse?</li></ul>
Sucesión o momento	<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Cuándo se hace?</li><li>- ¿Porqué se hace en ese momento?</li><li>- ¿En qué otro momento podría hacerse?</li><li>- ¿Cuándo debería hacerse?</li></ul>
Persona	<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Quién lo hace?</li><li>- ¿Porqué lo hace esa persona?</li><li>- ¿Qué otra persona podría hacerlo?</li><li>- ¿Quién debería hacerlo?</li></ul>
Medios o manera	<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Cómo se hace?</li><li>- ¿Porqué se hace así?</li><li>- ¿De qué otra manera podría hacerse?</li><li>- ¿Cómo debería hacerse?</li></ul>

Obviamente la última pregunta de cada serie será la más importante.

Como ya se ha mencionado, para encontrar la respuesta a muchas de estas preguntas quizás sea necesario recurrir al supervisor o a los propios trabajadores. Hay que recordar que ellos son los que están directamente relacionados con el trabajo y, por lo tanto, lo conocen mejor. Es conveniente hacerles ver que ellos mismos pueden dar la solución a muchos problemas.

El objeto del análisis de la operación es el mismo que el de la técnica del interrogatorio:

- Eliminar todo trabajo innecesario.
- Combinar las operaciones o elementos.
- Cambiar la secuencia de las operaciones.
- Simplificar las operaciones necesarias.

El orden de las estrategias es el adecuado para el análisis, sin embargo, es conveniente mencionar que en muchos lugares, para efectos prácticos, se debe comenzar el estudio con la mejora de las condiciones de trabajo. La razón de esto es que al mejorar las condiciones de trabajo, los trabajadores aceptarán más fácilmente las demás modificaciones que se puedan hacer, es decir, tendrán más confianza.

#### IV.2 Condiciones de Trabajo

El mejorar las condiciones de trabajo dará como resultado un aumento en la productividad de la mano de obra, logrando en forma específica:

- Reducir la fatiga.
- Reducir el ausentismo.
- Reducir la tardanza.
- Mejorar la seguridad.
- Incrementar la moral.
- Mejorar las relaciones humanas.
- Reducir los accidentes.

Las consideraciones para la mejora de las condiciones de trabajos ambientales son:

- Mejorar la iluminación.
- Controlar la temperatura.
- Proveer suficiente ventilación.
- Evitar el ruido.
- Promover el orden, la limpieza y el arreglo de los edificios.
- Tratar de eliminar inmediatamente los polvos, humos, gases, etc., que sean irritantes y peligrosos.
- Proveer a cualquier costo el equipo necesario para la protección del personal.
- Promover y reforzar un programa bien organizado de primeros auxilios.
- Proveer agua potable y conservar la higiene.
- Prevención de incendios.
- Selección de colores.
- Cuidar la alimentación dentro de la empresa.

Recordando las dos teorías acerca del trabajo humano, la teoría positiva se cumpliría, cuando cada persona viera con gusto y deseo el inicio de una nueva jornada de trabajo. La mejora de las condiciones de trabajo servirá para intentar alcanzar esta meta. La mejora de las condiciones de trabajo, aparte del aspecto humanitario, que es lo más importante, también tiene otra razón de ser: cuando se desean establecer tiempos estándar en la ejecución de ciertas operaciones, al trabajador se le deben conceder ciertos períodos de descanso para reponerse de los efectos fisiológicos y psicológicos de su trabajo; las malas condiciones incrementan la fatiga y se hace necesario concederle al operador mayor tiempo para descansar.

#### IV.3 Finalidad de la Operación

Cada una de las 10 estrategias tiene su importancia y ésta se incrementa dependiendo del trabajo que se vaya a analizar; sin embargo, la finalidad de la operación es de gran importancia ya que se debe tomar en cuenta para cualquier tipo de trabajo por las razones que se explican a continuación:

Forma de análisis:

A.- Eliminar todo trabajo innecesario.

La primera regla que el análisis deberá tomar en cuenta será tratar de eliminar la operación antes que tratar de mejorarla.

Las ventajas de eliminar una operación o actividad son:

- No se pierde tiempo al tratar de mejorarla y en consecuencia no se pierde dinero.
- No hay gastos en instalar un método mejorado.
- No hay demoras ni interrupciones durante su desarrollo, prueba o instalación.
- No se requiere entrenar a los operadores.
- Se minimiza la oposición o resistencia al cambio.

En resumen, la mejor forma de simplificar una operación es obtener los mismos resultados omitiéndola; sin embargo, hay que señalar que se pueden eliminar operaciones eficientes o ineficientes.

A veces observamos operaciones que se están realizando muy eficientemente, utilizando los mejores métodos posibles, pero que al ser analizadas, por muy eficientes que parezcan, resulta que son innecesarios.

#### B.- Combinar operaciones o elementos.

A veces se acostumbra descomponer los procesos en operaciones simples, sin embargo, si esta subdivisión del trabajo se lleva a cabo en forma muy exagerada puede causar:

- Excesivo manejo de materiales, herramientas y equipo.
- Dificultad al balancear tantas operaciones.
- Acumulación de trabajo entre las operaciones cuando la planeación es deficiente.
- Demoras cuando se emplean operadores inexpertos.
- Demoras cuando hay ausencias de algunos trabajadores.

Esto se puede solucionar combinando dos o más operaciones o haciendo cambios en el método que permita combinar algunas operaciones.

#### C.- Cambiar la secuencia de las operaciones.

Cuando se inicia la producción de un artículo generalmente se hace en pequeñas cantidades como una base "experimental" o de prueba. Al paso del tiempo la producción crece gradualmente, sin embargo, la secuencia de operaciones se mantiene tal y como se hacía cuando la producción era pequeña. En estos casos, muchas veces es conveniente cambiar la secuencia de las operaciones.

#### D.- Simplificación de las operaciones necesarias.

Este punto se analiza con las demás estrategias. Hay que auxiliarnos con la siguiente lista de preguntas:

- ¿Puede eliminarse la operación?
- ¿Puede dividirse la operación en dos o más?
- ¿Pueden combinarse dos operaciones en una sola?
- ¿Puede cambiarse la secuencia de las operaciones?
- ¿Pueden combinarse las operaciones con inspecciones?

#### IV.4 Diseño de la Parte

A este respecto debemos mencionar lo que se ha dicho muchas veces. El Ingeniero de Métodos solamente tiene que planear la fabricación de un producto en la forma más económica. Esto es cierto, pero se puede prestar a confusión, ya que se puede pensar que el Ingeniero de Métodos no tiene nada que ver con el diseño del producto. En realidad, el Ingeniero de Métodos tiene que analizar éste y otros aspectos que puedan afectar el costo de fabricación.

Por lo general es difícil introducir aún pequeños cambios en el diseño de un producto; sin embargo, el analista deberá revisar los diseños en búsqueda de posibles mejoras.

Hay que recordar que ningún diseño es fijo y permanente.

Para mejorar el diseño, el analista deberá seguir las siguientes indicaciones para obtener diseños a bajos costos:

- Reducir el número de partes simplificando el diseño.
- Reducir el número de operaciones y la longitud de recorrido de fabricación por medio de la unión de partes y haciendo el maquinado y el ensamble más fácil.
- Utilizar un mejor material.
- Confiar en la exactitud de las operaciones clave en vez de fijar límites muy estrechos.

Estas observaciones deberán tenerse presentes cuando se analiza el diseño de cada componente y de cada subensamble.

#### IV.5 Tolerancias y Especificaciones

Algunos de estos aspectos son tratados al considerar el diseño de la parte, sin embargo, esto no es suficiente y requiere una consideración especial, independientemente de las demás estrategias.

La tendencia de los diseñadores en incorporar tolerancias y especificaciones más rígidas de lo necesario se debe a dos razones:

- Falta de apreciación en los elementos de costo de fabricación.

El sentimiento de que es preciso determinar tolerancias y especificaciones más estrechas de lo realmente necesario a fin de forzar al departamento de fabricación a producir dentro del rango de las tolerancias requeridas.

Por otra parte, también es importante que no se den o fijen especificaciones demasiado liberales.

El analista deberá tener un amplio conocimiento de los costos de fabricación y su efecto en los precios de venta.

Hay que tener presente que el reducir una tolerancia puede facilitar una operación de ensamble u otras actividades siendo, en consecuencia, más económico.

Incluido en este punto se encuentra la inspección, que es la verificación de cantidad, calidad, dimensiones o funcionamiento.

Una vez establecidas las tolerancias y especificaciones, no se deberá permitir ninguna desviación.

La investigación puede hacerse con tres preguntas generales:

- ¿Son las tolerancias y especificaciones absolutamente correctas?
- ¿Se están aplicando los mejores métodos y procedimientos de inspección?
- ¿Se está haciendo uso de las técnicas modernas de control de calidad?

#### **IV.6 Materiales**

Hay cinco consideraciones que el analista de Métodos debe recordar en relación con los materiales directos e indirectos usados en un proceso.

**Materiales directos.**- Es básicamente la materia prima, o sea, el material a partir del cual se va a elaborar el producto.



**Materiales indirectos.**- Es el material necesario para el funcionamiento de las instalaciones o la buena ejecución de la operación; este material no forma parte del producto. Ejemplo: combustible, lubricantes, limpiadores, etc.

Las cinco consideraciones para los materiales son las siguientes:

- 1.- Encontrar un material más barato.
- 2.- Encontrar un material más fácil de procesar.
- 3.- Utilizar más económicamente los materiales.
- 4.- Posible aprovechamiento de los materiales sobrantes.
- 5.- Uso económico de los suministros y herramientas.

#### **IV.7 Proceso de Fabricación**

Todo trabajo se puede realizar de muchas formas, por tal razón, el proceso que se siga en la ejecución de nuestro trabajo se debe analizar para ver si es el más adecuado.

Es muy difícil para una persona conocer todos los procesos existentes o conocer de memoria el funcionamiento de ciertos equipos, al igual que sus limitaciones, tolerancias, capacidades y aplicaciones; sin embargo, con algunos principios básicos, podrán visualizarse oportunidades en la mejora de procesos.

La investigación para mejorar los procesos se puede realizar con cuatro consideraciones:

- 1.- Al cambiar una operación, considerar los posibles efectos en otras operaciones.
- 2.- Mecanización de las operaciones manuales.
- 3.- Utilización de mejores máquinas en las operaciones mecánicas.
- 4.- Un uso más eficiente de las instalaciones mecánicas.

#### **IV.8 Preparación y Herramental**

Por lo que respecta a este concepto el análisis se debe iniciar considerando cinco puntos:

- 1.- La cantidad que se va a producir.
- 2.- La posibilidad de repetir el pedido.
- 3.- La cantidad de trabajo que representa.
- 4.- Las condiciones de entrega.
- 5.- El capital requerido.

Estos puntos, como consideración muy especial para esta estrategia, son muy útiles también cuando se va a considerar la selección de un trabajo para hacer un estudio de métodos.

Para la mejora de la preparación y herramental la investigación se realiza en tres formas:

- A. Reducir el tiempo de preparación por medio de una mejor planeación y control de la producción.
- B. Diseñar el herramental de tal forma que la máquina lo pueda utilizar a su máxima capacidad.
- C. Introducir un herramental más eficiente.

Al hablar de herramental, se tiene en mente todo tipo de herramientas; los puntos B y C se refieren a dos clases diferentes de herramental.

Veamos cada uno de estos tres puntos:

A.- El tiempo al que nos referimos es el tiempo que se lleva en obtener las herramientas, las instrucciones y los materiales, e igualmente la preparación de la estación de trabajo antes de comenzar a producir y el tiempo requerido para limpiar la estación de trabajo y regresar el herramental y los materiales al almacén.

B.- La consideración básica en este punto es que se refiere al herramental usado con la máquina (dispositivos de sujeción, accesorios, plantillas, etc).

Esto implica el diseño de un herramental tal que el operador tenga que hacer un mínimo de cambios en la preparación o ajuste de la máquina, evitando tiempos muertos de la misma, especialmente cuando dicha máquina sea de gran producción.

C.- Introducción de un herramental más eficiente. Este punto se refiere al herramental manual y a las herramientas de corte. La mejora de esto requiere de un amplio conocimiento de los procesos y operaciones estudiadas y de los manuales que están siendo trabajados.

#### IV.9 Manejo de Materiales

El manejo de materiales es el arte y la ciencia que comprende el movimiento, empaque y almacenamiento de sustancias en cualquiera de sus formas.

Los cuatro objetivos principales del manejo de materiales en lo que se refiere a la producción son:

- 1.- Reducción de costos en el manejo.
  - a) Reducción de costos de la mano de obra.
  - b) Reducción de costos de material.
  - c) Reducción de costos en general.
- 2.- Aumento de la capacidad.
  - a) Aumento en la producción.
  - b) Aumento en la capacidad de almacenamiento.
  - c) Mejora de la distribución.
- 3.- Mejora en las condiciones de trabajo.
  - a) Aumento de la seguridad.
  - b) Reducción de la fatiga.
  - c) Mejora de las comodidades personales.
- 4.- Mejor distribución.
  - a) Mejoras en el sistema de manejo.
  - b) Mejoras en el equipo de rutas.
  - c) Localización estratégica de almacenamientos.
  - d) Mejoras en el servicio para los usuarios.
  - e) Aumento en la disponibilidad del producto.

Cuando se habla de manejo de materiales siempre se deberá tener en mente el siguiente principio lógico:

"El mejor objeto manejado es el que se maneja menor manualmente y entre menos se maneje un material u objeto, sin importar los medios que se usen, es mejor".

Se puede reducir tiempo y energía en el manejo de materiales tomando en cuenta lo siguiente:

- Reducir las distancias y desperdicios.
- Reducir el manejo de materiales usando equipo mecánico.
- Hacer un mejor uso de los elementos de manejo existentes.
- Manejando los materiales con mayor cuidado.

Los objetivos del manejo de materiales en forma simplificada son los siguientes:

Objetivo	Explicación
1.- Hacia su terminación -----	Sin retrocesos o flujo transversal.
2.- En el mismo dispositivo -----	Sin transferencias.
3.- Suave y rápidamente -----	Sin confusión, demoras, manejo innecesario, ni colocaciones bruscas.
4.- En las distancias más cortas -	Sin viajes largos.
5.- Fácilmente -----	Sin movimientos extras de manejo.
6.- Seguramente -----	Sin daño a las personas o materiales.
7.- Convenientemente -----	Sin demasiado esfuerzo físico.
8.- Económicamente -----	Sin hacer varios viajes cuando uno sea suficiente; combinando unidades pequeñas en una grande.
9.- En forma coordinada con ----- producción	Sin causar que los trabajadores de producción realicen esfuerzos extras con manejos manuales, doblando el cuerpo o con largos alcances.
10.-Coordinado con otros manejos-	Lograr que todo el equipo de manejo pueda ser integrado.

Las preguntas y respuestas sistemáticas para atacar un problema de manejo de materiales son las siguientes:

Pregunta	Respuesta
¿Qué se va a mover?	1.- Lista de partes y materiales. 2.- Lista de características de las partes. 3.- Programas de producción.

¿Hacia dónde se va a mover?

- 1.- Hojas de proceso.
- 2.- Estudio del diagrama de flujo y recorrido.
- 3.- Planos, modelos, etc.

¿Cómo se va a mover

- 1.- Objetivos generales y objetivos simplificados del manejo de materiales.
- 2.- Listas de preguntas.
- 3.- Principios del manejo de materiales.
- 4.- Estudios de tiempos.

En caso de que se decida utilizar equipo mecánico, una pregunta adicional sería:

¿Qué equipo se va a usar?

- 1.- Hoja de características de los equipos.
- 2.- Estudio de costos.

Ciertos puntos que requieren explicación son los siguientes:

- La lista de partes y materiales es importante, especialmente cuando se manejan grandes cantidades.
- La lista de características de las partes es importante para determinar el modo de manejo.
- Los programas de producción nos permiten conocer el número de unidades que se van a producir, a fin de planear la forma adecuada de recepción y almacenamiento de los materiales y facilidades necesarias, así como movimientos para periodos futuros.
- Cuando se decida usar equipo mecánico se podrá utilizar las guías de selección de equipo que aparecen en muchos textos y confrontarlas con los catálogos de los proveedores y verificar características.

Las características que se deben estudiar son las siguientes:

- + Habilidad o capacidad para hacer un trabajo específico.
- + Usos auxiliares del equipo.
- + Aspectos de seguridad para el operador, el material y otros.
- + Efecto sobre las condiciones ambientales tales como: inconveniencias, confusiones, ruidos, humos, etc.
- + Garantía de funcionamiento.

Por lo que respecta a los estudios de costos se deberá analizar lo siguiente:

- \* Costo del equipo.
- \* Costo de la entrega.
- \* Costo de instalación.
- \* Costo de operación.
- \* Costo de mantenimiento.

Algunas normas y principios que rigen el Manejo de Materiales son:

- Tratar de que los materiales queden a la altura que se va a trabajar con ellos. Nunca depositar los materiales en el suelo.
- Acortar lo más que sea posible las distancias.
- Aprovechar la fuerza de la gravedad.
- Acarrear siempre la carga a granel.
- Tener siempre disponibles cajas, plataformas y recipientes.
- No tratar de reducir el número de personas que recogen y acarrear los materiales, si existe el riesgo de que el personal de producción tenga que hacer más manipulaciones que antes.
- Mantener libres los lugares de tráfico.

#### IV.10 Distribución de Planta y Equipo

La distribución de planta abarca el arreglo físico de las facilidades industriales. Este arreglo, ya sea instalado o en planeación, incluye los espacios necesarios para el movimiento de material, almacenamientos, trabajadores indirectos, y todas las demás actividades de soporte o servicios, al igual que para el equipo de operación y el personal.

La distribución o arreglo de equipo y áreas de trabajo es un problema inevitable en todas las plantas industriales.

Podemos decir que el objeto general de la distribución de planta es el obtener un arreglo de áreas de trabajo y equipo que sea el más económico de operar, pero a la vez seguro y satisfactorio para los empleados.

Más específicamente, las ventajas de una buena

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

distribución resultan a través de los ahorros en el costo de operación.

Dicha reducción en los costos proviene cuando se logran los siguientes fines específicos de la distribución de planta:

- Reducción de riesgos para la salud y seguridad de los empleados.
- Mejorar la moral y satisfacción del operador.
- Aumento de la productividad.
- Menores demoras en la producción.
- Ahorros de espacio (producción, almacenamientos y áreas de servicio).
- Reducción en el manejo de materiales.
- Mayor utilización de la maquinaria, mano de obra y servicios.
- Reducción de inventarios en proceso.
- Menor tiempo de fabricación.
- Reducción del trabajo administrativo y de mano de obra indirecta.
- Más fácil y mejor supervisión.
- Menor congestión y confusión.
- Reducción de peligros para el material.
- Más fácil ajuste o adaptación al cambio de condiciones.
- Otras ventajas misceláneas.

Para poder hacer esta clasificación es conveniente hacer antes unas observaciones acerca de la naturaleza de la producción. Las personas cambian la forma o las características del material o añaden otros materiales al mismo. Esto nos conduce a un desglose que es importante para el trabajo de distribución de planta. Hay tres cosas que le pueden suceder a un material en la elaboración de un producto: puede ser formado, tratado o ensamblado.

- Cambiar la forma se le conoce como formado o fabricación.
- Cambiar las características se le llama tratamiento o procesamiento.
- Añadir componentes a una parte se llama ensamble.

Los tipos clásicos de distribución de planta son tres:

A.- Distribución por posición fija o componente fijo  
(Localización fija de material)

Esta es una distribución en donde el material o componente principal permanece en un lugar fijo, no se mueve;

todas las herramientas, maquinaria, hombres y otros materiales son llevados hacia él. Todo el trabajo o el producto se hace con el componente principal permaneciendo en un solo lugar.

El área de trabajo circular de la economía de movimientos es un ejemplo de esto.

B.- Distribución por proceso o función.

Aquí todas las operaciones del mismo proceso o tipo de proceso se agrupan. Por ejemplo, toda la soldadura se hace en un área, todo el taladrado en otra, todo el pintado en el taller de pintura, etc. Las operaciones y equipo similares se agrupan de acuerdo al proceso o a la función que realizan.

C.- Distribución en línea o distribución por producto.

Aquí un producto se elabora en una sola área, pero a diferencia de la distribución por posición fija, el material sí se mueve. En esta distribución se coloca una operación inmediatamente adyacente a la siguiente. Esto significa que cualquier equipo utilizado para hacer el producto, sin importar el proceso o función que realiza, se ordena de acuerdo a la secuencia de operaciones. Esto es lo que se conoce como producción en línea.

Cuando combinamos estos tres tipos de distribución con las tres clases de operaciones de producción -formado, tratamiento y ensamble- tenemos un total de nueve posibilidades. Puesto que el formado y el tratamiento son similares los consideraremos juntos. Esto nos da seis tipos de distribución de planta.

Además de entender la naturaleza de cada tipo de distribución, debemos conocer las principales ventajas de cada una de ellas. En el formado o en el tratamiento la maquinaria por lo general juega un papel muy importante. No se puede mover fácilmente y, en consecuencia, tendemos a llevar el material hacia las máquinas. Solamente en los casos en donde se tiene que producir una o varias piezas, donde la maquinaria consiste de pequeñas herramientas, y donde el trabajador está altamente calificado, podemos encontrar una distribución por posición fija en las operaciones de formado o tratamiento. Por esta razón solo compararemos las principales ventajas de la distribución por proceso con la distribución por producto para formado y tratamiento.



Las ventajas de la distribución por proceso para formado y tratamiento son las siguientes:

- Mejor utilización de las máquinas lo cual permite una menor inversión en las mismas.
- Se adapta a una gran variedad de productos y a cambios frecuentes en la secuencia de operaciones.
- Se adapta a demandas intermitentes y programas de producción variables.
- Hay un mayor incentivo para los trabajadores (en forma individual) haciendo que eleven su rendimiento.
- Es fácil mantener la continuidad de la producción en caso de:
  - \* Fallas de las máquinas o del equipo.
  - \* Escasez de material.
  - \* Ausencia de trabajadores.

Las ventajas de la producción en línea para formado y tratamiento:

- Reducción en el manejo de materiales.
- Reducción de cantidad de material en proceso, permitiendo un menor tiempo de producción (tiempo en proceso) y menor inversión en materiales.
- Uso más efectivo de la mano de obra:
  - \* Por medio de una mayor especialización.
  - \* A través de un adiestramiento más sencillo (menor costo y posibilidades más rápidas de empezar a producir).
  - \* Por medio de un suministro de mano de obra más fácil de obtener.
- Control más fácil:
  - \* De la producción, lo cual permite menos trabajo de papeleo.
  - \* Sobre los trabajadores, permitiendo una supervisión más fácil.
  - \* Por medio de menores problemas interdepartamentales.
- Reducción de congestión y mayor aprovechamiento del espacio, que de otra forma tendría que utilizarse para pasillos y almacenamiento.

En el trabajo de ensamble, por otra parte, la maquinaria generalmente consiste en herramientas manuales o equipo móvil sencillo. Es relativamente fácil mover estas herramientas hacia el trabajo; por lo tanto, en trabajo de ensamble, encontramos con más frecuencia ya sea la distribución por componente fijo o la producción en línea.

Las ventajas de la distribución por componente fijo para ensamble son las siguientes:

- Reduce el manejo de la unidad de ensamble mayor, aunque se incrementa el manejo de partes hacia el punto de ensamble.
- Permite que los trabajadores altamente calificados terminen su trabajo en un punto y fija la responsabilidad por la calidad en un solo trabajador.
- Permite cambios frecuentes en los productos o diseños de los productos y en la secuencia de operaciones.
- Se adapta a una gran variedad de productos y a demanda intermitente.
- Es más flexible por el hecho de que no requiere una ingeniería de distribución muy organizada ni cara, planeación de producción o provisiones por cortes en la continuidad del trabajo.

Las ventajas de la producción en línea para ensamble son las siguientes:

- Menos manejo de partes hacia el punto de ensamble, menor congestión alrededor de la unidad de ensamble y mejor aprovechamiento de espacio que de lo contrario estaría destinado para pasillos y almacenamiento.
- Menor mano de obra costosa:
  - \* Gracias a una especialización del trabajo.
  - \* Mayor facilidad en el adiestramiento.
  - \* Gracias a una mayor disponibilidad de mano de obra.
- Reducción de cantidades de material en proceso, permitiendo menos tiempo en proceso y menor inversión en material.
- Más fácil supervisión una vez que se ha planeado la distribución y se han organizado los controles.
- Reducción de movimientos de equipo especial de ensamble.

Es necesario mencionar que aunque los tipos clásicos de distribución nos muestran cómo ciertos factores influyen en la distribución, en la industria rara vez encontramos estas distribuciones en su forma pura; por lo general se encuentran combinadas entre sí, o la línea de demarcación entre uno y otro tipo no es muy clara.

Es muy complicado saber qué tipo de distribución se debe utilizar para cada caso; sin embargo, mencionaremos algunas recomendaciones para el uso de cada uno de los tipos de distribución:

Se utiliza la distribución por componente fijo cuando:

- Las operaciones de formado o tratamiento requieren solo herramientas manuales o maquinaria sencilla.
- Se elabora una o unas cuantas unidades de determinado producto.
- El costo de mover la pieza mayor de material es elevado.
- La calidad de ciertos trabajos descansa en la habilidad del trabajador.

Se usa la distribución por proceso cuando:

- La maquinaria es muy cara y no se puede mover fácilmente.
- Se hace una gran variedad de productos.
- Hay amplia variación en los tiempos requeridos para las diferentes operaciones.
- Hay una demanda intermitente o pequeña de algún producto.

Se usa la producción en línea cuando:

- Hay una gran cantidad de piezas o productos por elaborar.
- El diseño del producto está más o menos estandarizado.
- La demanda por el producto es bastante estable y el balanceo de operaciones permite obtener, sin dificultad la continuidad del flujo de material.

Una regla definitiva de la distribución, que mejor afronta los objetivos de la distribución de planta es: "Usar la producción en línea siempre que sea práctico".

Esto quiere decir que bajo las mejores condiciones para producción debemos tener generalmente una línea de producción, o distribución por producto ó una serie de líneas de producción; es decir, si tenemos una serie de operaciones que realizar sobre varias piezas similares de material, la forma más rápida y más fácil de realizar el trabajo es hacer una operación inmediatamente después de la anterior; ésto quiere decir, mover el material de una área de trabajo directamente a la siguiente. Esta es la producción en línea.

# CAPITULO V

## ESTUDIO DE METODOS

## V. ESTUDIO DE METODOS

### V.1 Concepto del Estudio de Métodos

En el capítulo anterior se dió una definición de Estudio de Métodos; ahora se presentará otra definición más breve.

EL ESTUDIO DE METODOS ES EL ANALISIS DE UNA OPERACION PARA AUMENTAR LA PRODUCCION POR UNIDAD DE TIEMPO Y REDUCIR EL COSTO UNITARIO.

### V.2 Herramientas necesarias para el Estudio de Métodos

Se llaman métodos estadísticos a los procedimientos, utilizados en la organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos.

Para el proceso de aplicación de los métodos estadísticos existen tres aspectos que es necesario sepamos diferenciar:

1. La fuente u origen de los datos.
2. Las características a las que se refieren los datos.
3. La forma de medición usada en la recolección de los datos.

#### FUENTE DE DATOS

La fuente de los datos es invariablemente una población o una muestra.

POBLACION es un conjunto de individuos, objetos o acontecimientos, definidos con relación a algún rasgo común que una o identifique a todos sus miembros. Por ejemplo: la población de amas de casa de una cierta entidad o la población de tornillos producidos por una fábrica.

MUESTRA es un subconjunto de la población. O sea, un grupo limitado de individuos, objetos o acontecimientos tomados de una población.

## CARACTERISTICAS A LA QUE SE REFIEREN LOS DATOS

El ATRIBUTO de una población o de una muestra que nos interesa conocer o investigar constituye la CARACTERISTICA a la que se refieren los datos.

En vista de que la cantidad o calidad de este atributo generalmente varía de miembro a miembro de la población de la muestra, se le denomina VARIABLE. Por ejemplo: en la población de amas de casa se puede estar interesado en el tipo de aceite que usan en la cocina. En este caso, el atributo "tipo de aceite usado" es la variable de la población "amas de casa", en la población de tornillos se puede estar interesado en los diferentes diámetros de los mismos. En cada caso, el atributo "diámetro del tornillo" es la variable estudiada.

Las características que se observan o se estudian en una población o en una muestra pueden ser de dos clases: cualitativas y cuantitativas.

CARACTERISTICAS CUALITATIVAS son aquéllas que únicamente pueden describirse. Por ejemplo: los tipos de aceite usados por las amas de casa.

CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS son aquéllas que se pueden contar o medir. Por ejemplo: los diámetros de los tornillos producidos por una fábrica.

De lo anterior se deduce que las variables son también de dos tipos: VARIABLES CUALITATIVAS, que asumen diferentes formas de descripción y VARIABLES CUANTITATIVAS, que se prestan a diferentes formas de medición.

A su vez, las VARIABLES CUANTITATIVAS, pueden ser de dos clases: continuas y discretas.

Son CONTINUAS las variables que, aunque sólo fuera en teoría se consideran susceptibles de subdividirse infinitamente. Todas las variables expresadas en forma de longitud, superficie, volumen, peso, tiempo, temperatura, valor, etc., se consideran continuas, igual que las expresadas como medidas de relación: porcentajes y puntuaciones.

Son **DISCRETAS** las variables que únicamente pueden asumir valores enteros. Por ejemplo: al clasificar hoteles por el número de cuartos que contienen, la variable "cuartos de hotel" se considera discreta, ya que no tiene sentido hablar de fracciones de cuarto de hotel.

Cada una de las formas de descripción de las variables cualitativas y cada uno de los valores de medición de las variables cuantitativas se conocen con el nombre de **VARIANTES, CLASES o CATEGORIAS**. Estos tres términos son sinónimos en estadística y se pueden usar indistintamente, siendo más popular el segundo de ellos.

#### **FORMAS DE MEDICION O DE CLASIFICACION**

Las formas en que se pueden medir o clasificar una variable dependen de la naturaleza de la variable. Para la medición o clasificación de las variables cualitativas se utilizan escalas nominales. Para la clasificación o medición de variables cuantitativas se usan escalas numéricas.

Las **ESCALAS NOMINALES** solamente implican la clasificación de la variable en categorías descriptivas mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas. Por ejemplo: si los hogares de cierta localidad usaran exclusivamente los cuatro siguientes tipos de aceite: oliva, cártamo, ajonjolí y maíz, la variable "tipo de aceite" quedaría totalmente clasificada con una escala nominal compuesta por dichas cuatro categorías. Cuando la escala nominal es susceptible de interpretarse en forma jerárquica, se convierte en una **ESCALA ORDINAL**. O sea que la escala ordinal es una escala nominal ordenada por rango.

Las **ESCALAS NUMERICAS** usadas en la medición o clasificación de variables cuantitativas, pueden ser de dos clases; escalas de intervalos iguales y escalas proporcionales.

#### **DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS**

En la mayoría de las investigaciones, el primer objetivo de la observación de una variable es determinar el número de casos en que se presenta cada una de sus variantes o clases. A este número de casos se le denomina **FRECUENCIA** de la variante o de la clase.

La determinación de la frecuencia con la que ocurre cada variante, puede realizarse a través del estudio u observación de toda la población, en cuyo caso se trata de un CENSO o de un INVENTARIO.

Si las frecuencias se determinan mediante la observación tan sólo en un segmento de la población, o sea de una muestra, se trata de un MUESTREO.

#### DISTRIBUCIONES AGRUPADAS DE FRECUENCIAS

Cuando el número de variantes o clases de la variable es muy grande, puede resultar preferible presentar la distribución de frecuencias en forma agrupada, o sea, incluyendo en cada clase varias mediciones de la variable, en vez de una sola.

#### ANÁLISIS PERCENTILICO

Sucede también con frecuencia que lo que interesa es reducir la distribución de frecuencias de una variable a ciertas estructuras porcentuales que le sirvan como patrón para efectuar comparaciones entre los diversos segmentos o con segmentos equivalentes de otras distribuciones similares. En tales casos se recurre al Análisis Percentílico.

Lo que se propone el Análisis Percentílico es simplemente determinar los valores de la variable debajo de los cuales caen determinados porcentajes de la frecuencia.

Los segmentos porcentuales más comunes en el Análisis Percentílico son los siguientes:

Cuartiles: Segmentos en 4 partes iguales: primer cuartil: 25%; Segundo Cuartil: 50%; Tercer Cuartil: 75%; Cuarto Cuartil: 100%.

Quintiles: Segmentos en 5 partes iguales: 20%, 40%, 60%, 80%, 100%.

Deciles: Segmentación en 10 partes iguales: 10%, 20%, 30%, etc.

Centiles: Segmentación en 100 partes: 1%, 2%, 3%, 4%, etc.



Todas las clasificaciones anteriores toman el nombre genérico de percentiles o cuantiles.

Para la aplicación del Análisis Percentílico se presupone que la variable es cuantitativa y continua.

## REPRESENTACIONES GRAFICAS

Para presentar en forma gráfica distribuciones de frecuencias, se pueden utilizar 3 métodos: Histogramas, Polígonos y Ojivas.

## CURVAS DE FRECUENCIAS

Se utilizan cuando el número de variantes es muy limitado. Para investigar una población muy grande donde se tiene que extender el número de observaciones a todos los valores posibles de una variable continua, existe la posibilidad de obtener una infinidad de variantes y, en tal caso, la representación gráfica de una distribución de frecuencias de esta amplitud, en vez de formar un polígono, se transformaría en una curva continua, cuya forma dependería de la concentración de frecuencias en cada punto de la curva (o sea en cada una de la infinidad de variantes).

La CURVA NORMAL es la más importante de estas curvas de frecuencias, por ser representativas de una gran cantidad de fenómenos y por sus extensas aplicaciones.

## MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

Las herramientas antes mencionadas pueden aportar información preliminar de interés acerca de la variable investigada en una población o una muestra; sin embargo, no responden a la necesidad de describir una colectividad en función de una sola medida que la caracterice y la distinga.

Existen en Estadística varios tipos de medidas que responden a esta necesidad, de las cuales las más conocidas son las Proporciones y los Promedios; sin embargo, éstos son solamente datos representativos de la colectividad y para obtener datos más concisos hay que profundizar en su investigación.

La PROPORCION es una de las medidas más usuales en la Investigación y, a la vez, la más simple de calcular, puesto que se reduce a la determinación de un porcentaje.

El PROMEDIO es una medida más versátil y algo más compleja, ya que existen 5 diferentes tipos de promedios:

- Media Aritmética (a la que se llamará simplemente Media)
- Mediana
- Moda
- Media Geométrica
- Media Armónica

De los cuales el promedio más frecuentemente utilizado es la Media. Le siguen aunque con usos más limitados, la Mediana y la Media Geométrica. En cuanto a la Moda y a la Media Armónica son contadas las ocasiones que se justifica su uso.

Los promedios toman el nombre genérico de MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL, porque constituyen valores centrales de una variable, representativos en todas sus variantes.

Cuando se elige a la Media como medida de tendencia central, es frecuente que también se desee saber en qué grado difieren los diversos valores de la variable con respecto a su media. O, lo que es lo mismo, cuál es el grado de dispersión (o de concentración) de las variantes alrededor de su media.

Esta necesidad ha originado la creación de un tercer tipo de medidas: las MEDIDAS DE DISPERSION entre las cuales la única de uso verdaderamente frecuente, es la Desviación Estándar.

Desde el momento en que medidas tales como la proporción, la media, la desviación estándar, etc. han sido obtenidas de la investigación de una población, toman el nombre genérico de PARAMETROS de la población.

En los casos en que tales medidas han sido obtenidas de la observación de una muestra, toman el nombre genérico de ESTADISTICAS de la muestra.

La MEDIA es una medida de tendencia central que se obtiene dividiendo la suma de las variantes por el número de casos (o variantes), cuando la frecuencia de cada variante es la unidad:

$$M = \frac{\sum X}{N}$$

Expresión en la que:

- M Simboliza a la media,  
 $X$  simboliza a la variable,  
 $\sum$  (la letra griega mayúscula Sigma), significa "suma de"  
 $\sum X$  significa, por tanto, "suma de todas las variantes de la variable X"  
 N simboliza el número de casos (que equivale al número de variantes)

En los casos en que las frecuencias de las variantes son diferentes de la unidad, la fórmula para calcular la media es la siguiente:

$$M = \frac{\sum Xf}{\sum f}$$

Expresión en la que:

- $\sum Xf$  Significa "suma de los productos de cada variante por su frecuencia respectiva"  
 $\sum f$  Significa suma de todas las frecuencias (o sea N, el número total de casos).

La MEDIANA es una medida de tendencia central que divide una distribución en dos partes iguales. En otros términos, es el valor de la variable que equidista en ambos extremos de la distribución, cuando está ordenada en forma ascendente o descendente.

Si el número de casos (o frecuencia total de una distribución) es un número impar, la mediana coincidirá con la variante central, que se obtiene sumando 1 a la frecuencia total y dividiendo el resultado por dos.

Si el número de casos (o frecuencia total) es un número par, la mediana estará representada por la media aritmética de las dos variantes centrales.

La MODA se define como la variante que aparece con mayor frecuencia en una distribución.

Si existe una sola variante con máxima frecuencia, la distribución es UNIMODAL. Si hay dos variantes con la misma frecuencia máxima, la distribución es BIMODAL. Si hay más de dos, la distribución es MULTIMODAL. Inclusive una distribución puede carecer de Moda, cuando todas las variantes tienen la misma frecuencia. Esta prácticamente no tiene utilización, ya que entre otras cosas, es una medida sumamente expuesta a errores de muestreo.

La MEDIA GEOMETRICA, que se define como la raíz  $n$  del producto de las  $n$  variantes de una distribución, sólo encuentra aplicación práctica en aquellos casos especiales en los que se hace uso de la llamada "Fórmula del Interés Compuesto".

La MEDIA ARMONICA es un promedio que tiene poco uso.

Al igual que las medidas de tendencia central, existen varias medidas de dispersión, como la oscilación, la desviación cuartílica, la desviación media y la desviación estándar; de las cuales las tres primeras son de uso muy limitado.

Para nuestro estudio únicamente estudiaremos la desviación estandar.

### V.2.1 Distribución normal y desviación estándar

La DESVIACION ESTANDAR es una medida que expresa el grado de dispersión de las variantes de una distribución con respecto a la media. En consecuencia, media y desviación estándar aportan información complementaria sobre una distribución.

La relación entre media y desviación estándar, se expresa también por medio del siguiente cociente, denominado COEFICIENTE DE DISPERSION:

$$\text{Coeficiente de dispersión} = \frac{\text{desviación estándar}}{\text{media}}$$

Este cociente es interpretado como un porcentaje. A menor coeficiente de dispersión corresponde mayor concentración de las variantes alrededor de la media y viceversa.

Siendo el coeficiente de dispersión una medida de relación, independientemente de las unidades en que se expresan la media y la desviación estándar, resulta muy útil para comparar la estructura de dos o más distribuciones de cualquier tipo.

Así como para la media se ha usado el símbolo M (mayúscula), la desviación estándar será simbolizada con s (minúscula). En Estadística éstos son los símbolos que corresponden a dichas medidas, cuando son obtenidos por medio de muestras. Cuando dichas medidas constituyen parámetros, se simbolizan con las letras griegas correspondientes.

Existe la llamada VARIANZA que es la desviación estándar (s) elevada al cuadrado.

La desviación estándar de una distribución se obtiene sumando los cuadrados de las diferencias de cada variante con respecto a la media; dividiendo luego esta suma por la frecuencia total y, finalmente, extrayendo la raíz cuadrada de este cociente. Por tanto, para los casos en que todas las frecuencias de una distribución son iguales a la unidad, la fórmula de la desviación estándar es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - M)^2}{N}}$$

Si las frecuencias de la distribución son diferentes de la unidad, es necesario multiplicar los cuadrados de las diferencias de cada variante con respecto a la media, por sus respectivas frecuencias; y entonces se transforma en la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - M)^2 f}{\sum f}}$$

Sustituyendo M en las ecuaciones anteriores por su equivalente  $\frac{\sum x f}{\sum f}$  se pueden obtener diversas formas simplificadas para el cálculo de la desviación estándar:

Para distribuciones en las que la frecuencia de cada variante es la unidad:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - M^2}$$

Para distribuciones con frecuencias distintas de la unidad:

Método largo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 f}{\sum f} - \left(\frac{\sum x f}{\sum f}\right)^2}$$

Método corto:

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2 f}{\sum f} - \left(\frac{\sum d f}{\sum f}\right)^2}$$

Para distribuciones agrupadas de frecuencias: Las fórmulas para calcular la desviación estándar en distribuciones agrupadas de frecuencias son las mismas dadas anteriormente, con la única diferencia de que debemos utilizar las marcas de clase como valores de las variables. Así mismo, existe una fórmula codificada, para abreviar los cálculos y que es la siguiente:

$s = c$

$$\sqrt{\frac{\sum u^2 r}{\sum r} - \left(\frac{\sum ur}{\sum r}\right)^2}$$

El símbolo  $u$  en esta fórmula tiene el mismo significado que la letra  $c$  representando en este caso el intervalo de clase.

Si una cantidad constante se suma o resta de cada una de las variantes de una distribución de frecuencias, la desviación estándar que resulta después de haber efectuado estas operaciones, no cambia, sigue siendo la misma de la distribución original. Pero si dicha constante se multiplica, o se usa como divisor de cada una de las variantes de una distribución, la desviación estándar de la nueva distribución será igual al producto, o al cociente, según sea el caso, de la desviación estándar original, por la cantidad constante. Una de las consecuencias de esto es que, si cada una de las variantes de una distribución se divide por la desviación estándar de dicha distribución, la nueva desviación estándar será igual a 1. Esta peculiaridad es utilizada para obtener las llamadas DISTRIBUCIONES ESTANDARIZADAS, que son de gran utilidad por sus aplicaciones estadísticas.

Lo anterior implica que, si a cada una de las variantes de una distribución de frecuencias se le resta la media de la distribución y se le divide por la desviación estándar de la distribución, se obtendrá una nueva distribución, cuya media será 0 y cuya desviación estándar será 1.

Las variantes así obtenidas se llaman variantes  $z$ , la nueva variable representada por dichas variantes se denomina una VARIABLE ESTANDARIZADA y la nueva distribución se llama una DISTRIBUCION ESTANDARIZADA o una DISTRIBUCION  $z$ .

La reducción de las variantes de una distribución a valores  $z$ , o sea la estandarización de una variable, permite efectuar comparaciones entre diversas distribuciones y tiene extensas aplicaciones. La fórmula para calcular el valor  $z$  de una variante cualquiera, es la siguiente:

$$z = \frac{X - M}{s}$$

Expresión en la que:

X es una variante cualquiera de la variable X  
M es la media de la distribución de la variable X  
s es la desviación estándar de dicha distribución

La curva normal se obtiene cuando las frecuencias de los valores extremos de una distribución son mínimas y van creciendo simétricamente, desde ambos extremos, hasta llegar a un valor central con la máxima frecuencia.

Cuando una distribución es normal la media coincide con el valor (o variante) de máxima frecuencia y, por tanto, al expresarse en forma gráfica, la media tiene la misma abscisa que el eje vertical de la curva normal. Asimismo, los diferentes grados de elongación de la curva normal dependen de la desviación estándar de la distribución; es decir, puede existir una infinidad de curvas normales, cuyas diferentes posiciones y/o grados de elongación en un sistema de coordenadas cartesianas, dependen exclusivamente de su media y su desviación estándar.

La ECUACION DE LA CURVA NORMAL es una compleja expresión matemática, que define toda esta infinita familia de curvas, en función de la media y de la desviación estándar. En esta ecuación intervienen también como magnitudes constantes, el número  $\pi$  (pi), que como se sabe representa la relación de la circunferencia al diámetro y cuyo valor aproximado es 3.1416 y el número e, que representa la base de los llamados logaritmos naturales, cuyo valor aproximado es 2.7183

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2\sigma^2}$$



Cuando una distribución normal se expresa con la variable estandarizada, o sea cuando la media es 0 y la desviación estándar es 1, la ecuación anterior se simplifica considerablemente quedando de la siguiente forma:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$$

Cuando la variable ha sido estandarizada, la curva normal toma el nombre de CURVA NORMAL ESTANDAR y, al ser expresada en forma gráfica, la escala de valores de la variable X en el eje de abscisas se mide en desviación estándar, a la derecha y a la izquierda del valor central  $\mu = 0$ , que corresponde a la media de la distribución.

#### CURVA NORMAL DISTRIBUCION SIMETRICA DE PROBABILIDADES

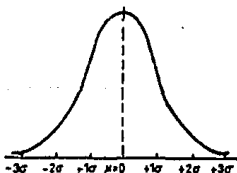


FIGURA V.1

La Curva Normal expresa gráficamente una distribución simétrica de probabilidades, en la que  $p = q = 1/2$ .

Algunas propiedades de la curva normal son:

10. La curva normal se utiliza como modelo matemático de distribuciones de probabilidades.
20. La curva normal es continua, hay un valor de  $Y$  (frecuencia probable) para cada valor de la variable aleatoria  $X$ . Por consiguiente su uso presupone que la variable aleatoria  $X$  es continua.
30. La curva normal se aproxima, pero nunca llega a tocar el eje de abscisas (o sea es asintótica al eje de abscisas). Los valores de la escala en el eje de abscisas se extienden de infinito positivo a infinito negativo.
40. Los valores de la variable  $X$  que rebasan a 3 desviaciones estándar tienen frecuencias muy próximas a 0.
50. El AREA TOTAL bajo la Curva Normal es igual a 1, o sea que es igual a la suma de probabilidades de todos los posibles eventos aleatorios a los que se refiere una distribución de probabilidades. Esta propiedad de la Curva Normal permite que la probabilidad de un evento cualquiera de la distribución de probabilidades venga expresado como una porción del área bajo la curva normal. O sea que la probabilidad viene expresada en forma porcentual.

Cálculo de probabilidades como áreas bajo la Curva Normal:

La determinación del área bajo una curva es un problema para cuya solución se requiere del cálculo integral. Sin embargo, cuando la variable ha sido estandarizada (o sea reducida a valores  $z$ ), la construcción de una sola TABLA DE AREAS bajo la Curva Normal para todos los posibles valores de  $z$ , permite la solución de cualquier problema relacionado con la distribución normal de probabilidades.

La tabla V.2 que a continuación se muestra es una Tabla de Areas bajo la curva normal. Los valores de  $z$  (desviación estándar) que aparecen allí están expresados con dos cifras decimales, desde 0.00 hasta 5.00 A partir de 5.00

# PROPORCIONES DEL AREA BAJO LA CURVA NORMAL

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2853
.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995	.4995
.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998									
4.0	.4999									
4.5	.49997									
5.0	.499997									

FIGURA V.3

desviaciones estándar las áreas bajo la curva normal se vuelven infinitamente pequeñas y, por tanto, sin ningún valor práctico.

Las áreas que se dan en la Tabla y que corresponden a cada valor de  $z$ , deben leerse como porcentajes de área que queda entre  $\mu = 0$  y los valores de  $z$  que se leen en el renglón y bajo la columna adecuada. Por ejemplo: Cuando el valor de  $z$  es 1.00, la Tabla indica que el área es 0.3413. Esto significa que entre el eje vertical de la curva normal ( $\mu = 0$ ) y  $z = 1$  desviación estándar, está comprendida el 34.13% del área total bajo la curva normal.

### CURVA NORMAL EJEMPLO

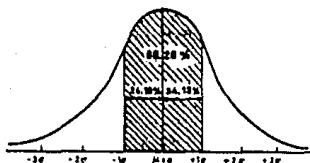


FIGURA V.3

Igualmente para  $z = 2$ , la Tabla nos indica que el 49.87% del área bajo la curva normal está comprendida entre  $\mu = 0$  y 2 desviaciones estándar.

## CURVA NORMAL EJEMPLO

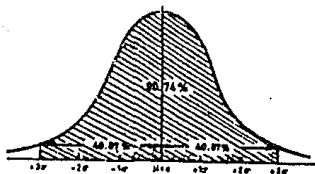


FIGURA V.4

Como se ha podido observar, el cálculo de un área bajo la curva normal implica el uso de dos valores de  $z$ , que definen los límites del área en cuestión. Por consiguiente, para calcular la probabilidad de un evento aleatorio utilizando la curva normal, dicha probabilidad vendrá dada por el área comprendida entre los dos valores de  $z$  que correspondan a los límites reales del evento, o sea de la variante aleatoria, especialmente en los casos en que la variable aleatoria es discreta.

El grado de exactitud de la aproximación normal, con respecto a la distribución binomial, depende del valor de  $p$  (o  $q$ ) y del tamaño  $n$  de la población o de la muestra.

Cuando  $p = q = 1/2$ , o cuando el valor de estas probabilidades es cercano a  $1/2$ , la aproximación es excelente, aún para  $n = 10$ ; pero si  $p$  (o  $q$ ) se alejan del valor  $1/2$  (o sea cuando la distribución es sesgada), se requieren poblaciones o muestras más grandes para obtener una buena aproximación.

Otras aplicaciones de la distribución normal, además de su utilidad para sustituir a la distribución binomial en la determinación de probabilidades, la distribución normal sirve para encontrar la solución a muchos otros tipos de problemas, que se consideran aproximadamente ajustadas a una distribución normal.

### V.2.2 Técnicas de los Mínimos Cuadrados y de Regresión

Aún cuando los procedimientos gráficos pueden ser muy útiles para establecer una ecuación de predicción para una variable dependiente en función de una independiente, es posible recurrir a métodos más elaborados de ajuste de curvas, como los procedimientos de mínimos cuadrados y de regresión. Lo anterior se verifica en mayor grado cuando una variable dependiente y se puede considerar como una función de más de una variable independiente.

Lo importante es determinar la media de la distribución de los tiempos para una variable  $x$ . Es necesario advertir que hay una distribución de la variable aleatoria tiempo para un valor dado de la variable independiente  $x$ . En la figura V.5 se muestra dicha relación con la línea perfectamente recta que es la gráfica de la ecuación  $y = B_0 + B_1 x$  que pasa por los valores medios de las cuatro distribuciones de  $y$ . Esta relación suele denominarse CURVA DE REGRESION de  $y$  respecto de  $x$ .

Una vez recopilados los datos, sólo se podrá evaluar aproximadamente el valor medio de las distribuciones de tiempos. Cualquier tiempo observado puede diferir de la media verdadera en una cantidad finita. Con objeto de determinar el valor de las estimaciones  $b_0$  y  $b_1$ , de los parámetros  $B_0$  y  $B_1$  para un conjunto de datos ( $n$  pares de observaciones  $X_i, Y_i$ ), donde se supone que es lineal la regresión de  $y$  respecto de  $x$ , hay que hallar la ecuación de la recta que mejor se ajuste a los datos. Por recta de mejor ajuste se entiende aquélla cuya ecuación es

$y = b_0 + b_1x$  para la que es mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales  $(y - y')$  correspondientes a los puntos que representan los datos.

**CURVA DE REGRESION DE 'Y'  
CON RESPECTO DE 'X'**

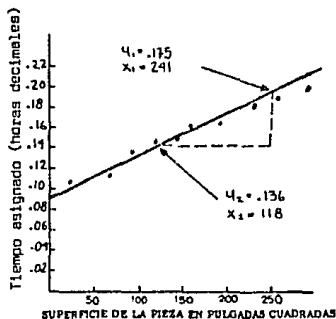


FIGURA V.6

Siguiendo el siguiente ejemplo:

---

Estudio	x (o área)	y (o área)	xy	x <sup>2</sup>
1	25	0.104	2.60	626
2	65	0.109	7.09	4 225
3	77	0.126	9.70	5 929
4	112	0.134	15.01	12 544
5	135	0.138	18.63	18 225
6	147	0.150	22.05	21 609
7	185	0.153	28.31	34 225
8	220	0.174	38.28	48 400
9	245	0.176	43.12	60 025
10	275	0.182	50.05	75 625
11	287	0.186	53.38	82 369
12	300	0.202	60.60	90 000
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 2 073	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 1.834	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 348.82	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 453 801

---

Es posible determinar  $m$  y  $b$  utilizando el método de MINIMOS CUADRADOS. En esta técnica, la pendiente resultante y la intercepción con el eje  $Y$  (u ordenada al origen), darán una recta para la que la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales de las observaciones respecto de la línea, es menor que la suma correspondiente de los cuadrados de desviaciones con respecto a cualquier otra recta. Las dos ecuaciones que han de resolverse simultáneamente son:

$$\sum y = Nb + m \sum x$$

$$\sum xy = b \sum x + m \sum x^2$$

Sustituyendo en las ecuaciones (1) y (2):

$$12b = 1.834 - 2.073m$$

$$2.073b = 348.82 - 453.801m$$

Multiplicando la ecuación (1) por 2.073 y la ecuación (2) por 12:

$$24.876b = 3.801.882 - 4.297.329m$$

$$24.876b = 4.185.840 - 5.445.612m$$

---


$$0 = -383.958 + 1.148.283m$$

o bien,

$$m = \frac{383.958}{1.148.283} = 0.000334$$

y sustituyendo en la ecuación (1):

$$12b = 1.834 - 0.692$$

$$b = \frac{1.142}{12} = 0.095$$



Como se ha observado, el método de los mínimos cuadrados requiere de la resolución de ecuaciones simultáneas, que puede llegar a ser muy laboriosa. Resolviendo estas ecuaciones para determinar la pendiente  $m$  y la intercepción  $b$ , se puede emplear la sustitución directa, que es la resolución por medio de ecuaciones de línea de REGRESION. Se emplean los mismos totales que en el método de los mínimos cuadrados, que son:

$$\sum x \quad \sum x^2 \quad \sum y \quad \sum xy$$

y  $N$ , el número de datos. La ecuación de la línea de regresión para evaluar la constante  $b$  es:

$$b = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{N(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

y la pendiente  $m$  se calcula como sigue:

$$m = \frac{N(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{N(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Calculando  $b$  y  $m$  para el ejemplo, se tiene:

$$b = \frac{(453\ 801)(1.834) - (2\ 073)(348.82)}{(12)(453\ 801) - (2\ 073)^2}$$

$$b = \frac{109\ 168}{1\ 148\ 283} = 0.095$$

$$m = \frac{(12)(348.82) - (2\ 073)(1.834)}{(12)(453\ 801) - (2\ 073)^2}$$

$$m = \frac{383.96}{1\ 148\ 283} = 0.000334$$

En ocasiones se advertirá que más de una variable independiente influye en la variable dependiente (tiempo). Si dos variables independientes intervienen en una relación lineal, entonces se tiene el caso de tratar de ajustar un plano a un conjunto de  $m$  puntos para minimizar la suma de los cuadrados de las distancias verticales de los puntos al plano.

### V.2.3 Programación lineal

La programación lineal es uno de los métodos de investigación de operaciones usado más comúnmente. Su ayuda es especialmente valiosa en los casos en que hay varias o muchas demandas o exigencias sobre recursos que escasean y cuando es difícil asignar de la mejor manera posible estos recursos limitados.

La relación entre los factores debe ser lineal, de lo contrario, la solución no tendrá validez. La relación lineal significa que cuando cambia un factor, también cambia otro, así como su cantidad determinada. Las horas de trabajo de un obrero pagado por hora y su salario son lineales, porque mientras más horas trabaje ganará más dinero. En cambio, el tiempo de preparativos no es lineal, porque no aumenta en función de la cantidad fabricada. Preparar una máquina para que ejecute una operación es cuestión independiente de las cantidades que produzcan. Por lo tanto, técnicamente la programación lineal no es aplicable si uno de los factores es el tiempo de preparación de los trabajos.

La calidad lineal puede ser negativa sin que afecte su validez. Si una persona empieza con un billete de 20 dólares, mientras más gaste menos le quedará. Este es un aspecto lineal negativo.

### V.2.3.a Un ejemplo gráfico

Vamos a suponer que la fábrica hace sólo dos modelos de coches: uno de 2 puertas, de 6 cilindros, y una camioneta de 8 cilindros. Nos ocuparemos de tres departamentos de fabricación: el de estampado de metal, el de montaje de motores y el de montaje final, en el cual hay dos cadenas o líneas de montaje: una para los coches de 2 puertas y una para las camionetas, ambas pueden trabajar simultáneamente.

El departamento de estampado puede producir en una semana piezas suficientes para 7 000 coches de 2 puertas o para 12 000 camionetas; pero no puede hacer las dos cosas al mismo tiempo. Es posible hacer una, o bien, la otra; o es posible hacer piezas para algunos coches de 2 puertas y para algunas camionetas. Lo mismo ocurre con los motores. Es posible lograr 9 000 motores de 6 cilindros para coches de 2 puertas o 6 000 de 8 cilindros para camionetas, combinaciones de los dos.

La cadena de montaje para automóviles de 2 puertas puede dar abasto a 6 000 coches como máximo. El límite de la cadena de camionetas es de 4 000. Sin embargo, en este caso, las dos cadenas pueden operar al mismo tiempo. El hecho de fomentar la producción de una cadena no significa que tenga que reducirse la producción de la otra.

Estos datos ofrecen varios tipos de "parámetros" (límites que no es posible rebasar). Pero ninguna limitación por sí sola fija límites a todas las combinaciones factibles. Es posible hacer 9 000 motores de 6 cilindros, aunque sólo puedan ensamblarse 6 000 coches de 2 puertas. El factor limitativo es el montaje. O bien, es posible, por lo que respecta al montaje, ensamblar 6 000 coches de 2 puertas y 4 000 camionetas. Pero, en realidad, no puede hacerse esto porque no es posible hacer suficientes piezas estampadas ni motores. La capacidad del estampado permite hacer piezas para 5 000 coches de 2 puertas y para 3 430 camionetas; pero tampoco puede hacerse esto. Esta vez, la fabricación de motores es el factor limitativo. Si se hacen 5 000 motores de 6 cilindros, entonces queda capacidad para hacer sólo 2 670 motores de 8 cilindros.

En la figura V.6 se muestran las posibilidades de la fabricación de motores. La zona sombreada contiene todas las combinaciones factibles de coches de 2 puertas y de camionetas.

La línea diagonal es el parámetro limitativo. Cualquier combinación de número de coches de 2 puertas y de camionetas que caiga en la diagonal, mantendrá plenamente ocupado al departamento de motores. Son también factibles las combinaciones dentro de la zona sombreada, aunque no tendrán totalmente ocupado al departamento. Sería posible, por ejemplo, fabricar 3 000 motores de 8 cilindros, y al mismo tiempo 3 000 motores de 6 cilindros, aunque ésto no tendría totalmente ocupado al departamento.

**ZONA DE PROBABILIDADES  
FABRICACION DE MOTORES**

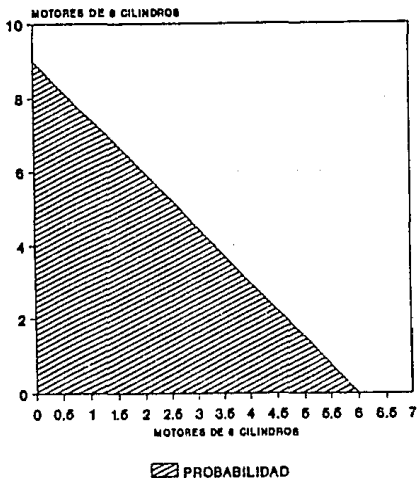


Figura V.6

En la figura V.7 se muestran las posibilidades de los estampados. En este caso también la línea diagonal muestra la producción máxima. Y también son factibles combinaciones menores; aunque éstas no tendrían atareado a todo el departamento de estampado.

ZONA DE PROBABILIDADES  
DEPARTAMENTO DE ESTAMPADO

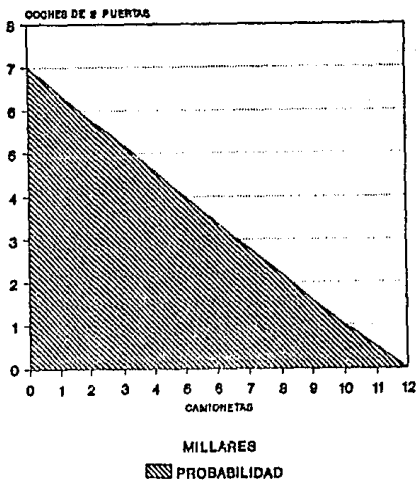


Figura V.7

Los otros dos departamentos, o los de capacidad de rendimiento en el montaje de cada clase de automóvil, se muestran en la figura V.8. Estas líneas de parámetros no dependen la una de la otra y, por lo tanto, no forman una línea diagonal. Nuevamente la zona sombreada contiene las combinaciones factibles por lo que respecta a los dos parámetros.

ZONA DE PROBABILIDADES  
DEPARTAMENTO DE MONTAJE

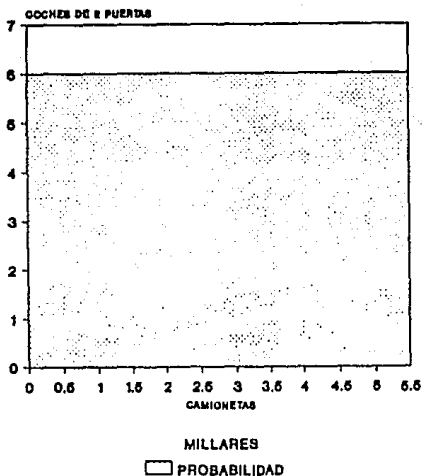


Figura V.8

La figura V.9 se refiere al aspecto lucrativo y muestra los resultados en ganancias de las diferentes combinaciones de los productos y los diferentes volúmenes de ventas. Podría trazarse todo un conjunto de estas líneas de lucro (y podría dárseles el nombre de familia de líneas "isolucrativas") para mostrar qué combinaciones de volúmenes de producción y de combinación de productos se necesitarían para ganar un millón de dólares, 1.5 millones, 2 millones, etc. En la figura siguiente se muestran las líneas isolucrativas de uno y de 2 millones de dólares.

### LINEAS ISOLUCRATIVAS

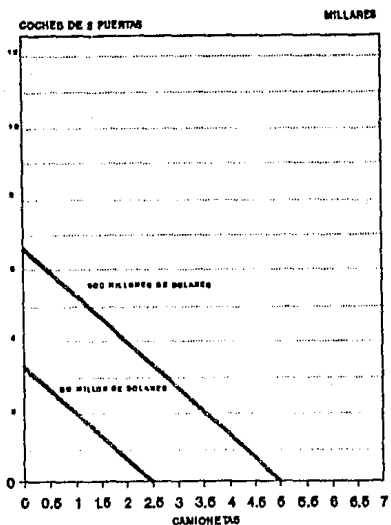


Figura V.9

En la figura V.10 se conjugan en una, las cuatro gráficas. La zona sombreada A-B-C-D-E contiene todas las posibilidades de soluciones factibles. La línea isocuantiva de 2.6 millones de dólares toca la zona de soluciones factibles en su punto máximo C.

## EL SISTEMA DE ALGORITMO SIMPLEX

MILLARES

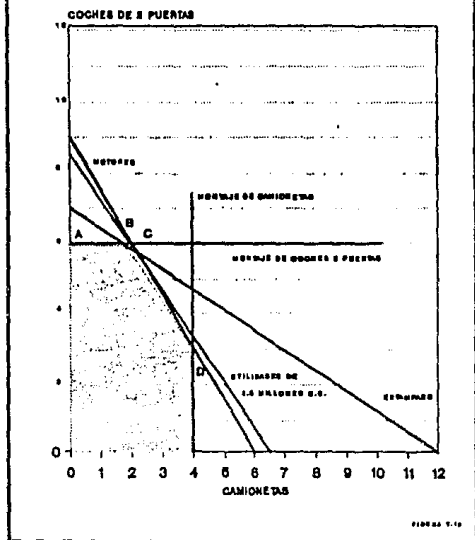


Figura V.10

Es posible hacer coches de 2 puertas y camionetas en cualquier combinación en la zona sombreada. Podemos hacer 6 000 coches de 2 puertas y ninguna camioneta (punto A), o bien, 6 000 coches de 2 puertas y cualquier cantidad hasta 1 715 camionetas (punto B). Pero de ahí en adelante, para hacer un número cualquiera mayor de camionetas, será necesario rebajar el de coches de 2 puertas, porque el departamento de estampado llegó a su límite. Al bajar hasta 5 727 coches de 2 puertas y subir a 2 183, camionetas (punto C) nos



tropezamos con las limitaciones de los motores. A partir de este punto, al rebajar el número de coches de 2 puertas para aumentar el de camionetas, los motores nos ponen un límite hasta llegar a 4 000 camionetas (punto D). Con esto ya se bajó a 3 000 coches de 2 puertas. A partir de este punto ya no pueden aumentar las camionetas porque llegamos al límite de capacidad de la línea de montaje de ellas. Podemos acortar el número de coches de 2 puertas a menos de 3 000, pero eso en nada ayudará a la fabricación de camionetas.

Hasta ahora se ha visto la forma en que los factores limitativos contraponen el punto el número de coches de 2 puertas y de camionetas. La planta está operando a plena capacidad por lo menos en uno de los departamentos en cualquier punto de la línea del parámetro, la que conecta los vértices A, B, C, D y E. En los puntos B, C y D la planta opera a toda capacidad en dos departamentos.

Sin embargo, la meta real no es solamente tener ocupados a los departamentos, sino ganar lo más posible. Por eso la meta es descubrir cuál es el punto en que las ganancias lleguen al máximo. Si damos por sentado que se ganan 300 dólares en cada coche de 2 puertas y 400 dólares en cada camioneta, he aquí la forma en que funciona ésto en el aspecto de lucro:

Punto	Número de		Utilidad total		
	2 puertas	Camionetas	2 puertas (300 dls. c/u)	Camionetas (400 dls. c/u)	Ambos (dólares)
A ...	6 000	0	1 800 000	0	1 800 000
B ...	6 000	1 715	1 800 000	686 000	2 486 000
C ...	5 727	2 183	1 718 000	873 200	2 591 300
D ...	3 000	4 000	900 000	1 600 000	2 500 000
E ...	0	4 000	0	1 600 000	1 600 000

La zona sombreada de la figura V.10 muestra las limitaciones de varios departamentos de fabricación. La línea isolucrativa de 2.6 millones de dólares toca a la zona sombreada solamente en el punto C, de manera que esa es la ganancia que se obtendrá en este punto máximo.

#### V.2.4 El Método Simplex

Muchos problemas en los negocios tienen decenas de factores y en ese caso es indispensable recurrir a procedimientos técnicos diferentes de programación lineal, o sea, al METODO SIMPLEX. En éste se facilita resolver ecuaciones algebraicas con más incógnitas que ecuaciones. El procedimiento difiere algo del álgebra usual. Para entender mejor éste método recurriremos a un ejemplo que se desarrollará en el siguiente apartado.

##### V.2.4.a Solución Algebraica

El problema consiste en asignar dos metales escasos a tres productos. Supóngase en virtud de las reglamentaciones del gobierno que sólo nos está permitido usar cantidades limitadas de níquel y de cobre. La meta es dividir el abastecimiento disponible entre tres productos, de tal manera que se obtenga el máximo de lucro.

La primera etapa es hacer la lista de lo que se requiere de los materiales para los productos:

Metal	Cantidad requerida			Asignación diaria
	Producto A	Producto B	Producto C	
Níquel ....	2 libras	4 libras	6 libras	160 libras
Cobre .....	3 libras	2 libras	4 libras	120 libras
Utilidad por unidad ....	50 dls.	60 dls.	120 dls.	

Empezaremos diciendo: un número desconocido de productos A multiplicado por 2 libras de níquel, más un número desconocido del producto B multiplicado por 4 libras de níquel, más un número desconocido del producto C multiplicado por 6 libras de níquel, requieren 160 libras o menos de níquel. Llamamos a los números desconocidos  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Podemos hacer la misma exposición con respecto al cobre. Sin embargo, por lo pronto no podemos hacer ecuaciones algebraicas que nos ayuden a encontrar soluciones, porque la mejor solución podría significar que quedara un poco de níquel o de cobre sobrantes. Por lo tanto, es necesario añadir dos letras más:  $n$  para el níquel sobrante y  $c$  para el cobre sobrante. Ahora podemos formar dos ecuaciones:

$$\text{Ecuación I para el níquel: } 2x + 4y + 6z + n = 160$$

$$\text{Ecuación II para el cobre: } 3x + 2y + 4z + c = 120$$

Estas ecuaciones I y II, contienen cinco valores desconocidos, que son  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $n$  y  $c$ . Cuando sólo hay 2 ecuaciones y son 5 las incógnitas, hay muchos conjuntos de 5 números que satisfacen las ecuaciones.

Aplicando el método de la programación lineal, no es necesario encontrar todos los números posibles que puedan satisfacer. En vez de ello, encontraremos un conjunto y luego buscaremos otros conjuntos que mejoren el resultado. El resultado perfeccionado que buscamos es una mayor utilidad. Para calcularla, se necesita una tercera ecuación. En esta ecuación,  $P$  representa a las utilidades. Es la "función" que tratamos de llevar al máximo:

$$\text{Ecuación III : } 50x + 60y + 120z = P$$

La solución se inicia usando la ecuación I y dando por sentado que sólo se fabricará el producto A y que no se hará nada de los productos B y C. En ese caso  $y$ ,  $z$ , son cero y las tres ecuaciones se convierten en :

$$\text{I : } 2x + n = 160$$

$$\text{II : } 3x + c = 120$$

$$\text{III : } 50x = P$$

Ahora haremos otro supuesto: que usamos todo el níquel en la fabricación del producto A. Esto hace  $n = 0$ , de manera que la ecuación I se convierte en  $2x = 160$ , o sea,  $x = 80$ . La cantidad de níquel disponible permitirá hacer 80 unidades del producto A. Pero cuando ensayamos en la ecuación II con  $x = 80$ , tenemos:  $3(80) + c = 120$ , o sea,  $240 + c = 120$ ;  $c = -120$ . Nos faltan 120 libras de cobre para hacer 80 unidades del producto A.

Por tanto, primeramente ensayamos la ecuación II. Si usamos todo el cobre,  $c$  será igual a cero y la ecuación II se convierte en  $3x = 120$ ; o sea,  $x = 40$ . Tenemos suficiente cobre para hacer 40 unidades del producto A. Usando  $x = 40$  en la ecuación I tenemos que hay suficiente níquel para hacer 40 unidades del producto A y que nos sobran 80 libras de níquel. Ahora vamos a la ecuación III para ver qué tan satisfactoria es esta solución. Muestra que fabricando 40 unidades del producto A con utilidad de 50 dls. cada una, tendremos una ganancia de 2 000 dls.

La segunda etapa en el método simplex es ver si alguna combinación de los productos A y B sería más lucrativa que hacer sólo el producto A. (Omitiremos el producto C que vendrá en la tercera etapa). Las ecuaciones se convierten ahora en:

$$I : 2x + 4y + n = 160$$

$$II : 3x + 2y + c = 120$$

$$III : 50x + 60y = P$$

Tenemos la impresión de que la combinación más lucrativa de los productos A y B agotará la disponibilidad de ambos metales, de manera que empezamos dejando en cero a  $n$  y a  $c$ . Esto deja a la ecuación I en  $2x + 4y = 160$ , a la ecuación II en  $3x + 2y = 120$ . Estas son ecuaciones algebraicas simultáneas simples. Resolviéndolas tenemos (usando primero la I):

$$2x = 160 - 4y$$

$$x = \frac{160 - 4y}{2}$$

$$x = 80 - 2y$$

Sustituyendo en II tenemos:

$$3(80 - 2y) + 2y = 120$$

$$240 - 6y + 2y = 120$$

$$- 4y = - 120$$

$$y = 30$$

y, volviendo a la ecuación I :

$$2x + 4(30) = 160$$

$$2x + 120 = 160$$

$$2x = 40$$

$$x = 20$$

Es posible, por lo tanto, hacer 20 unidades del producto A y 30 unidades del producto B. Esto agotará todo el metal disponible.

Ahora tenemos que ver cómo afecta esto a las utilidades. De acuerdo con la ecuación III:

$$50 \text{ dls } (20) + 60 \text{ dls } (30) = P$$

$$1\,000 \text{ dls } + 1\,800 \text{ dls } = P$$

$$P = 2\,800 \text{ dls}$$

Por lo tanto, esta solución es mejor que hacer 40 productos A y no hacer nada más.

Todavía no sabemos nada del producto C. Las utilidades podrían ser aún mayores si se hicieran algunas unidades C en lugar de tantas A y B. En la proposición mostrada líneas atrás se agota todo el níquel y el cobre, de manera que la única forma de hacer productos C es renunciar a fabricar algunos productos de A y B. ¿A cuántos productos A y B habrá que renunciar para hacer una unidad del producto C?

El álgebra nos dará la respuesta. Hagamos que  $a$  represente la cantidad en que tendrá que reducirse el producto A para tener suficiente material que aporte una unidad del producto C. Luego, si hacemos que  $b$  represente la reducción del producto B,  $a$  y  $b$  juntos producirán suficiente níquel y cobre para formar una unidad del producto C.

Ahora tenemos dos nuevas ecuaciones. Para el níquel, la nueva ecuación es  $2a + 4b = 6$ ; para el cobre es  $3a + 2b = 4$ . Estas ecuaciones de simulación se resuelven como la descrita atrás, empezando por la ecuación para el níquel:

$$a = \frac{6 - 4b}{2}$$

$$a = 3 - 2b$$

Haciendo la sustitución en la ecuación para el cobre:

$3(3 - 2b) + 2b = 4$ ;  $9 - 6b + 2b = 4$ ;  $-4b = -5$ ,  $b = 5/4$ . Volviendo a la ecuación para el níquel:  $2a + 4(5/4) = 6$ ;  $2a + 5 = 6$ ;  $2a = 1$ ;  $a = 1/2$ . Para producir una unidad del producto C será necesario renunciar a media unidad del producto A y a  $5/4$  del producto B.

¿Nos convendrá hacer esto? Volviendo a estudiar las cifras de utilidades, vemos que renunciar a la mitad de unidades del producto A significa renunciar a 25 dls. de utilidad, y que renunciar a  $5/4$  de unidad del producto B implica renunciar a 75 dls. de utilidades, o sea, que en total la baja en las utilidades es 100 dls. Pero una unidad del producto C rinde una utilidad de 120 dls., y, por lo tanto, conviene hacer por lo menos una unidad del producto C. La ventaja es de 20 dls.

¿Sería aún preferible hacer más de una unidad del producto C? La respuesta es afirmativa. La relación del lucro sigue siendo igual. Fue provechoso renunciar a algunos productos A y B para hacer una unidad de C y será también provechoso seguir renunciando a A y B para hacer C. Debemos seguir reduciendo a A y B hasta eliminar totalmente a uno de ellos. ¿Cuál "saldrá" primero y cuántos productos C permitirá fabricar el metal "ahorrado"?

En el primer programa se pedía hacer 20 productos A. Cada vez que se reduce medio producto A, se hace una aportación a fabricar un producto C.  $20 - 1/2 = 40$ . Suprimir A totalmente aportaría metal para 40 unidades de C. En el primer programa se pedía hacer 30 del producto B. Cada vez que  $5/4$  de unidad de B reducen, se aporta metal para hacer un C.  $30 - 5/4 = 24$ . Suprimiendo totalmente el producto B se tendrá una aportación para fabricar 24 unidades del producto C.

Estas 24 unidades, por lo tanto, son el número de productos C que deben hacerse. El producto B ha quedado totalmente suprimido. El producto A tiene que reducirse del número inicial de 20 a razón de la mitad por cada producto C,  $24 \times 1/2 = 12$ ;  $20 - 12 = 8$ . Ocho unidades del producto A pueden producirse todavía.

Ahora comprobemos las utilidades. Esta vez, su total es 3 280 dls., que se obtienen como sigue: 24 unidades del producto C a 120 dls. cada una = 2 880 dls., más 8 unidades del producto A a 50 dls. = 400 dls., o sea, un total de 3 280 dls.

Con esto termina este ejemplo. Se han llevado al máximo las ganancias y se ha usado la totalidad de ambas clases de metales en la combinación más lucrativa posible. La proporción en la mezcla de productos con el máximo de utilidades podría, en ciertos casos, dejar sobrante algo de uno de los materiales, pero eso no ocurrió en este ejemplo.

La programación lineal no sólo muestra cuál es la mejor de las medidas optativas que tomar, sino también cuánto cuesta proceder de otro modo. En nuestro problema, por ejemplo, quizá sería lo mejor seguir fabricando algunos productos B para ofrecer a los clientes una línea completa de productos. Sin embargo, esto nos costaría dinero, porque en cada producto B que fabriquemos perdemos 16 dls. En realidad, materialmente, no perdemos 16 dls. vendiendo un producto que da 60 dls. de ganancia; lo que pasa es que pudimos ganar 76 dls. usando los mismos materiales para fabricar otros productos. Quizá a pesar de saber esto, la decisión siga siendo fabricar productos B; pero se haría con los ojos abiertos. Sabemos lo que cuesta esa decisión.

#### V.2.4.b Cuadros y Matrices

Los problemas en las empresas nunca son tan sencillos como el ejemplo presentado anteriormente. Es posible usar el método simplex aún para problemas más complejos, aunque tiene que hacerse en forma diferente: el "algoritmo" simplex formado tabularmente con renglones y columnas de cifras. Desgraciadamente, el procedimiento no es sencillo. Se necesitan varias etapas y diversas tablas de números, llamados cuadros o matrices.

El problema que se usará para ilustrar el método simplex empleando "cuadros" consiste en decidir cuántos productos comprar externamente. Se trata de 4 piezas que se requieren en gran cantidad, más de lo que podemos fabricar nosotros mismos; pero contamos con algún tiempo disponible en las máquinas.

Las siguientes horas-máquina están disponibles: tornos mecánicos, 300; perforadoras, 500; y mandriladoras, 500 horas.

La primera pieza, golilla de cojinete, requiere 6 horas de torno, 2 horas de perforadora y una hora de mandriladora por cada 100 unidades. La pieza siguiente: retenedor de resorte, requiere 2, 5 y 2 horas respectivamente por centenar. Los clips corredizos llevan 0, 4 y 3 horas; y las conteras, 8, 2 y 4 horas por 100 unidades. Las piezas excedentes, compradas afuera, cuestan adicionalmente 10, 4, 7 y 2 dis. por cien unidades.

La primera etapa es escribir toda esa información en forma tabular. (A partir de este punto, vamos a hablar de una unidad de un producto, dando a entender 100 unidades reales).

---

Máquina	Horas disponibles	Horas por unidad (100)			
		Golilla de cojinete	Retenedor de resorte	Clip corredizo	Contera
Tornos.....	300	6	2	0	8
Perforadoras..	500	2	5	4	2
Mandriladoras.	500	1	2	3	4
Costo adicional hecho afuera (dls)....		10	4	7	2

---



Como paso siguiente, sustituimos los nombres de los productos por A, B, C y D. También debemos tener previsto un margen para horas que tal vez podrían sobrar en cada clase de máquinas. Esto se hace diciendo que en cada hora ociosa hacemos un producto imaginario que requiera una hora en una máquina y con lo cual no ganamos ningún dinero. Esos productos son X, Y, Z.

A continuación formamos ecuaciones que cubren el uso del tiempo de cada máquina. En estas ecuaciones cambiamos de mayúsculas a minúsculas, las cuáles representan cantidades desconocidas.

Las ecuaciones son, entonces:

$$\begin{aligned} \text{(Tornos)} \quad I : \quad 300 &= 6a + 2b + 0c + 8d + 1x \\ \text{(Perforadoras)} \quad II : \quad 500 &= 2a + 5b + 4c + 2d + 1y \\ \text{(Mandrilladoras)} \quad III : \quad 500 &= 1a + 2b + 3c + 4d + 1z \end{aligned}$$

La ecuación I significa que 300 horas de tiempo de tornos se emplearán para hacer 6 veces un número desconocido de A, más 2 veces un número desconocido de B, más cero veces C, más 8 veces el número de D, más un número desconocido de horas ociosas.

Además de estas 3 ecuaciones para el uso del tiempo de las máquinas, necesitamos una ecuación para los ahorros, puesto que estamos procurando llevarlos al máximo.

$$\text{(Ahorros)} \quad IV : \quad 10a + 4b + 7c + 2d + 0x + 0y + 0z$$

En el siguiente cuadro expondremos estas cuatro ecuaciones.

El cuadro 1 difiere en varios sentidos de las cuatro ecuaciones. En primer lugar, retiramos las (minúsculas) y regresamos a las (mayúsculas) y las ponemos en los encabezados de las columnas dejando solamente guarismos (los coeficientes) en el cuerpo del cuadro. En calidad de encabezados de columnas, ahora representan productos.

En seguida, a la izquierda agregamos columnas de programa y de ahorro. La columna de programa, al iniciarse el método simplex, es una lista de los productos imaginarios, y la columna de ahorros muestra los ahorros por unidad que obtendremos fabricando el producto, en este caso, cero.

Es más fácil explicar posteriormente lo que es el renglón básico I. Por ahora podemos decir, sin embargo, que inicia a todos los ceros. El renglón básico II es la cifra en la cabeza de la columna, menos la cifra del renglón básico I.

Cuadro 1

			número clave						
			A	B	C	D	X	Y	Z
Programa	Aho- rro	Canti- dad	10	4	7	2	0	0	0
X	0	300	6	2	0	8	1	0	0
			renglón clave						
Y	0	500	2	5	4	2	0	1	0
Z	0	500	1	2	3	4	0	0	1
Renglón básico I	0		0	0	0	0	0	0	0
Renglón básico II (dólares)			10	4	7	2	0	0	0
			columna clave						

Ahora estamos listos para tratar de perfeccionar nuestro primer programa. En el renglón básico II, el número más grande es 10 dólares. Esto nos advierte que hacer partidas A, aportará la utilidad mayor por unidad. La columna A, es la columna "clave" u óptima.

Ahora nos dedicamos a hacer todas las partidas A que podamos ¿Cómo podremos decir cuántas? Las 300 horas ociosas de los tornos divididas por las 6 horas requeridas por unidad nos indican que, por lo que respecta a los tornos, podemos hacer 50 unidades. Las perforadoras nos permiten hacer 250 unidades y las mandriladoras 500 unidades. Las perforadoras nos permiten hacer 250 unidades y las mandriladoras 500 unidades, de manera que el límite en los tornos determina nuestra cifra. Lo más que podemos fabricar de partidas A es 50.

La primera decisión, por consiguiente, es hacer 50 partidas A. Para llevar a cabo esta decisión, sustituiremos el renglón antiguo de X por uno nuevo A. Y para eso es necesario dividir cada número del renglón X antiguo por 6, que es el número de horas de tornos requerido para hacer una unidad de A. Este 6 es el valor limitativo y suele llamársele "número clave". También insertamos 10 dls. en la columna de ahorro en la matriz, puesto que ahorraremos 10 dls. en cada unidad A que fabriquemos. Por lo tanto, el nuevo renglón A por insertar se convierte en:

Renglón antiguo: X	0	300	6	2	0	8	1	0	0
Renglón nuevo: A (dls.)	10	50	1	.33	0	1.33	.17	0	0

Las siguientes partidas A también toman tiempo en las perforadoras y en las mandriladoras, de manera que quedará en ellas menos tiempo libre. Es necesario reducir proporcionalmente todas las cifras de los antiguos renglones Y y Z. El renglón inicial Y (para perforadoras) era:

Y	0	500	2	5	4	2	0	1	0
---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---

El Y mismo no cambia, ni tampoco el 0 en la columna de ahorro, porque todavía sobra tiempo en las taladradoras y sigue sin ahorrarse ningún dinero. No obstante, algunas de las 500 horas disponibles en las perforadoras se usarán en la fabricación de 50 golillas de cojinetes, por lo tanto, es preciso reducir estas 500, y también todos los demás números del renglón original Y.

El tiempo de perforación por unidad es 2 horas, comparado con 6 en los tornos, en vista de lo cual hacer 50 unidades A hará que se utilicen hasta 100 de las 500 horas ociosas Y, quedando un sobrante de 400 horas. Todos los demás números en el antiguo renglón Y se reducen también, pero el cálculo respectivo es diferente. Se determina la razón (cociente) entre el número clave 6 de la columna clave y el número 2 del renglón A en la columna clave. Es  $2/6$  o sea  $1/3$ . Los dos renglones antiguos X y Y se colocan de modo contiguo, así:

Renglón antiguo Y:	0	500	2	5	4	2	0	1	0
Renglón antiguo X:	0	300	6	2	0	8	1	0	0

Se calcula el nuevo renglón Y restando  $1/3$  del antiguo número X, a su número apareado Y. El cálculo se convierte entonces en:

Antiguo	Antiguo	Nuevo
500 -----(300 x 1/3) =	500 ----- 100	= 400
2 -----( 6 x 1/3) =	2 ----- 2	= 0
5 -----( 2 x 1/3) =	5 ----- 0.67	= 4.33
4 -----( 0 x 1/3) =	4 ----- 0	= 4.00
2 -----( 8 x 1/3) =	2 ----- 2.67	= - 0.67
0 -----( 1 x 1/3) =	0 ----- 0.33	= - 0.33
1 -----( 0 x 1/3) =	1 ----- 0	= 1.00
0 -----( 0 x 1/3) =	0 ----- 0	= 0

El nuevo renglón Y es ahora:

Y      0    400    0    4.33    4.00    -0.67    -0.33    1.00    0

Los productos A también ocupan tiempo en las mandriladoras, de manera que el antiguo Z también debe reducirse:

Antiguo	Antiguo	Nuevo
500 -----(300 x 1/6) =	500 ----- 50	= 450
1 -----( 6 x 1/6) =	1 ----- 1	= 0
2 -----( 2 x 1/6) =	2 ----- 0.33	= 1.67
3 -----( 0 x 1/6) =	3 ----- 0	= 3.00
4 -----( 8 x 1/6) =	4 ----- 1.33	= 2.67
0 -----( 1 x 1/6) =	0 ----- 0.17	= -0.17
0 -----( 0 x 1/6) =	0 ----- 0	= 0
1 -----( 0 x 1/6) =	1 ----- 0	= 1.00

El nuevo renglón Z es ahora:

Z            0    450    0    1.67    3.00    2.67    -0.17    0    1.00

Ahora estamos listos para formar un cuadro parcial 2:

Pro- grama	Ahorro Dis.	Canti- dad	A	B	C	D	X	Y	Z		
			dólares								
			10			4	7	2	0	0	0
A	10	50	1.00	.33	0	1.33	.17	0	0	0	0
Y	0	400	0	4.33	4	-.67	-.33	1	0	0	0
Z	0	450	0	1.67	3	2.67	-.17	0	0	0	1

Al llegar a este punto deberá ponerse el renglón básico I. Para ello multiplicamos cada número en cada renglón por los ahorros de este renglón. Para el renglón A esto es:

10	dólares	x	50	=	500.00	dólares
10	dólares	x	1.00	=	10.00	dólares
10	dólares	x	0.33	=	3.30	dólares
10	dólares	x	0	=	0	dólares
10	dólares	x	1.33	=	13.30	dólares
10	dólares	x	0.17	=	1.70	dólares
10	dólares	x	0	=	0	dólares
10	dólares	x	0	=	0	dólares

Puesto que no hay ahorros en ningún otro renglón, este conjunto de cantidades se convierte en el renglón básico I del cuadro 2. También hemos calculado el renglón básico II, restando la cantidad en dolares del renglón básico I de la cantidad en la parte superior de cada columna. Si hay un saldo negativo, éste se muestra en el renglón básico II con el signo de menos antes de él. Ilustrado en el cuadro 2.

Ahora pasamos al cuadro 3 aplicando el mismo procedimiento empleado para formar el cuadro 2. C es la columna clave y Y es el renglón clave.

Puesto que ahora hay dos productos reales en el programa, hay ahorros en dos productos. El renglón básico I requiere más cálculos.

Cuadro 2

Pro- grama	Ahorro dls.	Canti- dad	dólares					Z	
			A	B	C	D	X		Y
			10	4	7	2	0	0	0
A	10	50	1	.3	0	1.33	.17	0	0
Y	0	400	0	4.33	4	-.67	-.33	1	0
Z	0	450	0	1.67	3	2.67	-.17	0	1
RB I	500		10	3.30	0	13.30	1.70	0	0
RB II			0	.70	7	-11.30	-1.70	0	0

Son los del ahorro en productos A multiplicados por cada número de las columnas A a Z. Se multiplican los 10 dólares por 1, 0.33, 0, 1.33, 0.17, 0 y 0 para obtener 10, 3.30, 0, 13.30, 1.70, 0 y 0. El mismo procedimiento se aplica para el producto C, o sea, 7 dólares multiplicados por 0, 1.08, 1, -0.17, -0.08, 0.25, y 0. Esto arroja 0, 7.56, 7, -1.19, -0.56, 1.75 y 0. Estos números correspondientes a las columnas A a Z se suman luego para obtener el renglón básico I.

	A	B	C	D	X	Y	Z
	10.00	3.30	0	13.30	1.70	0	0
	0	7.50	7.00	-1.19	-0.56	1.75	0
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
RB I	10.00	10.86	7.00	12.11	1.14	1.75	0

Cuadro 3

Pro- grama	Ahorro Dis.	Canti- dad	A	B	C	D	X	Y	Z
			10	4	7	dólares			2
A	10	50	1	.33	0	1.33	.17	0	0
C	7	100	0	1.08	1	-.17	-.08	.25	0
Z	0	150	0	-1.58	0	2.17	.08	-.75	1
RB I	1 200		10	10.86	7	12.11	1.14	1.75	0
RB II			0	-6.86	0	-10.11	-1.14	-1.75	0

El problema está ahora resuelto, como lo muestra el hecho de que no hay números positivos en el renglón básico II del cuadro 1. No hay productos que deberíamos fabricar y que aumenten las utilidades.

La solución es el programa a la izquierda del cuadro 3. Debemos de fabricar 50 unidades (5 000 piezas) de golillas de cojinetes y 100 unidades (10 000 piezas) de clips corredizos. Esto nos da un ahorro de 1 200 dólares, comparado con la compra externa de estos artículos. Sin embargo, aún se halla en el programa la partida 2. Esto nos advierte que el programa más lucrativo, aunque acapara todo el tiempo de los tornos y de las perforadoras, nos deja libres 150 horas de tiempo no aprovechado en las mandriladoras.

El cuadro 3 también advierte que hay "precios de compensación costosa"; que si decidimos hacer algunos de nuestros retenedores de resorte o conteras (quizá para tener una doble fuente de abastecimiento) esa medida de protección nos costará un precio de compensación de 6.86 dólares por cada 100 en todos los retenedores de resorte que fabriquemos, o 10.11 dólares por cada 100 conteras, y que esto sucederá a pesar de que hayamos ahorrado fabricando estos productos internamente. Sin embargo, para hacerlos internamente tendríamos que hacer menos golillas de cojinete y clips corredizos en que la "fabricación" interna arroja utilidad aún mayor.

En realidad, las aplicaciones simples son mucho más complicadas que las de este sencillo ejemplo y aún en éste pudimos haber necesitado uno o dos cuadros más, para tener una solución. Y los habríamos necesitado si la pérdida mayor por unidad del producto no hubiese sido una guía fidedigna del mejor programa. Suele suceder que las partidas en las que se ahorra menos por unidad ocupan tan poco tiempo de máquinas que en realidad su fabricación es la más lucrativa. Si fuese éste el caso, el método simplex lo revelaría, aunque se requeriría otro cuadro, o más de uno, para descubrirlo. Esto se debe a que en el método simplex se presta atención primeramente a dónde se hallan en perspectiva los ahorros mayores por unidad. Más tarde entran en juego las ganancias totales.

Las computadoras son de gran ayuda en todos los problemas del método simplex, porque pueden hacer muchísimos cálculos y muy aprisa. Sin embargo, los problemas simplex suelen volverse tan complicados que constituyen un verdadero trabajo hasta para una computadora.

#### V.2.5 El Método de Asignaciones

El METODO DE ASIGNACION por investigación de operaciones sirve para escoger la mejor manera (o más bien, la menos mala) de delegar o asignar los trabajos a las máquinas.

Por ejemplo: Vamos a suponer que se tienen 4 máquinas a las cuales hay que asignar 4 trabajos. Sin embargo, las máquinas tienen una capacidad desigual de producción y la meta es asignar cada trabajo a la máquina mejor, tomando en cuenta todos los factores. El problema se complica en virtud de que una máquina es muy buena para casi todos los trabajos pero sólo puede hacer uno, de manera que los demás tienen que delegarse a las máquinas menos adecuadas.

En la matriz A se muestra, en un caso hipotético, las relaciones entre las máquinas, tareas y eficiencias relativas. Los números en el cuerpo de la matriz A corresponden a la eficiencia relativa de las máquinas; los números elevados representan la gran eficiencia y los números pequeños la eficiencia baja. Podrían imaginarse como las cantidades de productos que cada máquina rendiría en cada tarea a cambio de 100 dólares de costo.



Matriz A

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	60	20	30	10
B	70	40	30	20
C	80	100	70	30
D	70	70	50	40

La primera etapa es hallar el número más alto en el cuerpo de la tabla, el cual es 100. A continuación se forma la matriz parcial B, restando todos los números a 100 y anotando la diferencia. Esto nos da los números de la matriz parcial B.

Matriz parcial B

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	40	80	70	90
B	30	60	70	80
C	20	0	30	70
D	30	30	50	60

A continuación cambiamos la matriz parcial B a la matriz B, añadiendo una columna a la derecha y un renglón en la parte inferior. La columna extra es simplemente la lista del número más pequeño de cada renglón. De la misma manera, el nuevo renglón adicional es una lista de los números más pequeños de cada columna. Con el aumento de este nuevo renglón y de la nueva columna, queda completa la matriz B.

Al llegar a este punto, el método de asignación requiere que se haga la elección entre la columna nueva añadida y el renglón. Esta elección es indispensable para formar la base de la etapa siguiente. Para hacerla se suman los números. El total de los números en la columna de "números pequeños" es 100. En el renglón de números pequeños el total es 110.

Matriz B

Máquina	Trabajo			Número	
	1	2	3	pequeño	
A	40	80	70	90	40
B	30	60	70	80	30
C	20	0	30	70	0
D	30	30	50	60	
Número pequeño	20	0	30	60	100
				110	

Elegimos el total mayor (el del renglón de abajo de la matriz B); indica qué números usar en la etapa siguiente, lo cual llevará a la matriz C. Para formar ésta, cada número de lado a lado de este renglón al pie de la matriz B se resta de cada número de la misma columna situado arriba.

La siguiente etapa es trazar rayas verticales y horizontales para tachar todos los ceros, usando el menor número de rayas que sea posible. Estas rayas se han trazado en la matriz C, pero hay dos de ellas; sin embargo, lo que se ha pedido es trazar el menor número de rayas, lo cual es algo ambiguo. Por ejemplo, ¿Deberá tacharse el cero de la intersección D 4 con una raya horizontal o con una vertical? Otra regla es ésta: la raya que se trace debe ser la que deje libre el número más bajo. Una raya horizontal dejará libre un 20, y una vertical un 10. Por lo tanto, se elige la raya vertical.

Matriz C

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	20	80	40	30
B	10	60	40	20
C	<del>0</del>	<del>0</del>	<del>0</del>	<del>10</del>
D	10	30	20	0

Aún no tenemos una solución al problema porque se han tachado todos los ceros solamente con dos rayas. Sólo habrá una solución cuando se necesiten 4 (porque hay 4 máquinas) para todos los ceros.

Es por lo tanto necesario proseguir con la matriz D, que se forma de la matriz C. El primer paso es hallar en la matriz C el número más pequeño que no esté tachado con una raya: es el 10. Este número se resta de todos los números que quedan libres y se agrega todos los números en que se cruzan las líneas. Todos los demás números quedan sin cambio.

El procedimiento usado en la matriz C, de trazarrayas que tachen los ceros, vuelve a usarse en la matriz D. En ésta se requieren 3 rayas para tachar todos los ceros, de manera que aún no hay solución y es necesario proseguir a la matriz E. Para formar la matriz E con base en la D se repiten las etapas usadas en la matriz D que se basaron en la C.

Matriz D

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	<del>10</del>	70	30	<del>30</del>
B	<del>0</del>	50	30	20
C	<del>0</del>	<del>0</del>	<del>0</del>	<del>20</del>
D	<del>0</del>	20	10	0

De nuevo, es 10 el número libre más bajo, de manera que se resta de todos los números libres y se agrega a los números de las intersecciones. Y de nuevo se dejan iguales todos los números tachados.

Matriz E

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	<del>10</del>	60	20	30
B	<del>0</del>	40	20	20
C	<del>10</del>	<del>0</del>	<del>0</del>	<del>30</del>
D	<del>0</del>	<del>10</del>	<del>0</del>	<del>0</del>

Nuevamente no hay solución porque pueden tacharse todos los ceros con sólo 3 rayas y no con 4; de manera que es preciso seguir a la matriz F.

Matriz F

Trabajo				
Máquina	1	2	3	4
A	10	40	⓪	10
B	⓪	20	0	0
C	10	⓪	0	10
D	20	10	0	⓪

En esta ocasión sí hay una solución porque se requieren 4 rayas para tachar a todos los ceros en esta matriz. (No se han trazado las rayas en la matriz F pero puede verse que se necesitan cuatro). ¿Y cuál es la respuesta? Deben asignarse máquinas a los trabajos en que aparezcan ceros. Los ceros

rodeados de un círculo son las asignaciones. Hay un solo cero para el trabajo 1; por lo tanto, B debe hacer el trabajo 1. Hay un solo cero para el trabajo 2 y, por consiguiente, C debe hacer el trabajo 2, y puesto que B está haciendo el trabajo 1 no puede hacer el trabajo 4, de manera que tiene que hacerlo D. Así A tiene que hacer el trabajo restante, que es el trabajo 3.

En este método de investigación de operaciones se requiere una matriz cuadrada. Si las máquinas y los trabajos no son iguales en número, puede formarse una matriz cuadrada añadiendo máquinas o trabajos imaginarios. Todo lo que se necesita es agregar trabajos o máquinas con números de eficiencia extremadamente bajos, por ejemplo, cero, a la matriz original. En este proceso se eliminan y no están comprendidos en las elecciones que se hacen.

### V.3 Objetivos específicos del Estudio de Métodos

Los objetivos específicos del Estudio de Métodos estarán enfocados al aumento de la Productividad.

Básicamente, estos objetivos serán:

- Mejorar los procesos o procedimientos.
- Mejorar la distribución de planta, taller o lugar de trabajo.
- Mejorar la utilización de la maquinaria, materiales y mano de obra.
- Economizar el esfuerzo humano reduciendo la fatiga innecesaria.
- Crear condiciones de trabajo aceptables.

El Estudio de Métodos no se realiza únicamente cuando se trata de mejorar un método ya existente, sino también se puede efectuar al diseñar nuevos productos o, más generalmente, el inicio de nuevos proyectos.

Después de la amplia introducción que se ha dado acerca del Estudio de Métodos, procedamos ahora a analizar detalladamente cada una de sus etapas.

#### V.4 Etapas del Estudio de Métodos

Cuando escuchamos la palabra "método", en seguida nos viene a la mente la noción de "sistemático", es decir, algo que lleva un orden. Es por ésto que las etapas del Estudio de Métodos se conocen como "Procedimiento Sistemático del Estudio de Métodos". Este procedimiento es el siguiente:

- 1.- Seleccionar el trabajo que se va a estudiar.
- 2.- Registrar todo lo relacionado con el método presente.
- 3.- Examinar críticamente todo lo registrado referente al método actual, utilizando para ello las técnicas más apropiadas.
- 4.- Idear el método más práctico, efectivo y económico.
- 5.- Definir el nuevo método para que sirva como medio de referencia y a la vez para efectuar una labor de convencimiento.
- 6.- Implantar dicho método mejorado como una práctica normal.
- 7.- Mantener en uso dicho método, verificando su cumplimiento periódicamente.

De estas siete etapas, las más importantes son:

- Registro
- Examinar
- Idear mejores métodos

Recordando estas tres etapas, es posible retener las definiciones de Estudio de Métodos.

#### **SELECCIONAR**

Básicamente esta etapa consiste en decidir si es conveniente o no, realizar un estudio de método o tal o cual trabajo y, en ocasiones, a cuales se les debe dar preferencia.

Dentro de esta etapa hay varios factores que se deben considerar.

Los factores a considerar al seleccionar un trabajo para hacer un estudio de métodos son los siguientes:

- a) Factores de índole económica.
- b) Factores de índole tecnológica
- c) Reacciones humanas.

**FACTORES DE INDOLE ECONOMICA.** Analizar si el estudio es conveniente por lo que respecta a costos, tanto de aplicación como de mantenimiento, y los beneficios que se podrían obtener para compensar los costos de inversión en el mismo.

**FACTORES DE INDOLE TECNOLOGICA.** Ver si se cuenta con los avances y la tecnología apropiada.

**REACCIONES HUMANAS.** Analizar el recurso humano en cuanto a sus actitudes y aptitudes.

Las situaciones propias para realizar un Estudio de Métodos son:

- Estancamientos
- Uso de nueva maquinaria
- Grandes movimientos de maquinaria y hombres
- Elaboración de nuevos productos
- Expansión de la planta
- Trabajos pesados (requiriendo un gran esfuerzo de los trabajadores).
- Operaciones de un alto grado de repetición
- Operaciones que vayan a durar mucho tiempo (grandes volúmenes de producción).
- Incapacidad de competir con empresas similares
- Costos de producción altos y utilidades bajas

Cuando se presentan estas situaciones, casi se podrá ver la necesidad urgente de realizar un Estudio de Métodos, pero aún así, es necesario considerar los factores antes mencionados al seleccionar un trabajo para hacer un Estudio de Métodos.

#### **REGISTRAR**

De esta etapa depende el buen desarrollo de las dos siguientes. Consiste en la presentación adecuada, gracias a una serie de diagramas muy especiales, de la situación en que se encuentra el método presente, evitando todos aquellos defectos de que se hablaron al referirnos a la información, y así poder hacer un análisis crítico e idear un mejor método en la forma más rápida y económica posible.

El Estudio de Métodos en esta etapa, utiliza una serie de técnicas de registro, por medio de las cuales se da toda la información necesaria en una forma concisa, pero a la vez detallada, referente al método presente.

Estas técnicas se usan actualmente por un gran número de personas, de tal forma que se han llegado a estandarizar casi completamente. Esta estandarización permite que todas las personas que efectúan Estudio de Métodos puedan entender esta información.

En realidad estas técnicas de registro no son otra cosa que una serie de diagramas especiales con una simbología especial.

Estas mismas técnicas nos servirán para la quinta etapa, ya que con la misma precisión con que se presenta un método para su análisis, se debe presentar para su aprobación el nuevo método.

La O.I.T. (Organización Internacional del Trabajo), ha hecho una clasificación de este tipo de diagramas de la forma siguiente:

- a) Aquéllos que sirven para anotar una sucesión de hechos o sucesos en el orden en que ocurren, pero sin reproducirlos en una escala de tiempo.
- b) Aquéllos que registran sucesos, también en el orden en que ocurren, pero indicando una escala de tiempo, de tal forma que se observe su acción relativa generalmente aquéllos en que dos ó más elementos diferentes actúan en el trabajo.
- c) Aquéllos que indican movimiento.

Es importante entender bien la primera clasificación, ya que aunque en algunos de estos diagramas se consignan tiempos de ejecución, estos tiempos no se reproducen en una escala.

La tercera clasificación comprende aquéllos diagramas en los cuales el movimiento representa la principal actividad de análisis y en los cuales tal desplazamiento queda ampliamente resaltado y es considerable.



En el siguiente inciso se hablará con mayor detalle de los diagramas antes mencionados.

#### ANALIZAR O EXAMINAR

Para evitar que esta etapa se desarrolle en una forma desordenada se hace uso de dos técnicas bien definidas: la técnica del interrogatorio y el empleo de las 10 estrategias del análisis de operación.

#### IDEAR

Esta etapa se desarrolla, en cierta forma, simultáneamente con la anterior, es decir, al ir haciendo el análisis y detectando las fallas, la mente empieza a trabajar para encontrar un mejor método.

#### V.5 Diagramas de Registro del Estudio de Métodos

##### V.5.1 Diagramas de Proceso de Operaciones

###### (CURSOGRAMA SINOPTICO)

De acuerdo a la A.S.M.E., el diagrama de proceso de operaciones es una representación de los momentos en los cuales los materiales son introducidos al proceso, y la secuencia de inspecciones y todas las operaciones (excepto aquellas que tienen que ver con el manejo de materiales); contiene información que se considera necesaria para el análisis, tal como el entronque o ensamble de los componentes secundarios con el componente principal.

La O.I.T. lo define como un diagrama que presenta un cuadro general de como se suceden tan sólo las principales operaciones e inspecciones.

Los símbolos que utiliza este diagrama son los siguientes:

## OPERACION



Se realiza una operación cuando la parte que va a ser estudiada es transformada intencionalmente, o cuando es planeada; indica las fases principales de un proceso o procedimiento y por lo común indica que la pieza o material es modificada durante la operación.

## INSPECCION



Ocurre una inspección cuando se verifica la cantidad, la calidad o ambas. En esta actividad la parte que está siendo estudiada se verifica o examina para ver si está en conformidad con el estándar.

La principal diferencia entre estas dos actividades, consiste en que en una operación, el material o el servicio avanza hacia su fin; la forma o composición es modificada, d se añade o quita un elemento (ensamble, desmontaje). En general, se puede decir que es cualquier actividad que ayuda a la terminación del producto, excepto aquéllas que se refieren al transporte y cualquier tipo de inspección.

Deberá quedar claro que la inspección no ayuda a la conversión del material en producto terminado, sino sólo para verificar la cantidad o calidad.

Estos son los únicos dos símbolos que se utilizan en el cursograma sinóptico, el de operación y el de inspección.

La elaboración del diagrama consiste en:

- Identificar en la parte superior de la hoja el título del diagrama.
- Describir brevemente la clase de trabajo que se va a realizar; de ser posible indicar el número del producto (identificación), plano o dibujo y fecha de elaboración.
- Indicar si el método es presente o propuesto.
- A la derecha, el nombre del analista y la fecha del estudio.

- Identificación de la planta, el área y el departamento.
- Seleccionar el elemento principal del estudio o del producto.
- A continuación, los demás elementos en el orden de ensamble con el elemento o componente principal.
- Todos los componentes deberán identificarse.
- Se traza una línea horizontal de material y sobre de ella una breve descripción del material, indicando: cantidad, dibujo o especificación, dimensiones, etc.
- A continuación se traza una línea vertical de flujo hacia abajo, a partir del extremo derecho de la línea horizontal de material, y se traza un símbolo para la primera operación o inspección según sea el caso.
- En resumen, el diagrama constará de líneas horizontales de material y líneas verticales de flujo.
- La línea vertical de flujo del componente principal deberá estar en la parte derecha de la hoja.
- A la derecha del símbolo de cada actividad se indica una descripción breve pero específica del evento.
- También conviene indicar abajo de esta descripción, el lugar o la máquina donde se desarrolló la actividad.
- A la izquierda del símbolo se anota el tiempo requerido para ejecutar la actividad. Por lo común no se indica tiempo para las inspecciones.
- A continuación se traza una línea horizontal, para indicar el momento en que el segundo componente entra en el proceso y se entronca con el componente principal.
- Los componentes o partes comparadas también se introducen por medio de una línea horizontal; obviamente, estos componentes no requieren líneas verticales de flujo.
- Todas las operaciones e inspecciones se enumeran cronológicamente, por separado, como medio de identificación y referencia.

La primera operación se enumera O-1 dentro del círculo.  
 La segunda operación se enumera O-2 dentro del círculo.  
 La primera inspección se enumera I-1 dentro del cuadro.

Todas las actividades realizadas en los diferentes componentes se enumeran de acuerdo a su secuencia lógica.

Al final del diagrama se hace un resumen de la siguiente forma:

EVENTO	NUMERO O CANTIDAD	TIEMPO
OPERACIONES	10	8.5 MIN.
INSPECCIONES	3	-----

Uso del diagrama del proceso de operaciones:

Se usa principalmente para analizar los siguientes puntos:

- Propósito de la operación
- Diseño de la parte
- Tolerancias y especificaciones
- Materiales
- Proceso de fabricación
- Preparación del herramental
- Condiciones de trabajo

Notas finales sobre el diagrama de proceso de operación:

A veces ocurren ciertas actividades que se realizan simultáneamente y dan lugar a operaciones combinadas, como podría ser una operación y una inspección.

El símbolo correspondiente será:



Con la representación gráfica obtenemos una visión panorámica de lo que sucede, y de esta manera los fenómenos se entienden más fácilmente incluyendo su relación mutua.

Los hechos y detalles deberán recopilarse por observación directa, nunca debe hacerse memoria, sino a medida que el trabajo se ejecuta. Esto es importante debido a que nos interesa mejorar lo que se está haciendo, no lo que se cree que se hace.

En éste y en todo tipo de diagramas deberá mantenerse orden y limpieza para evitar errores durante el análisis y verificaciones innecesarias.

# DIAGRAMA DE PROCESO

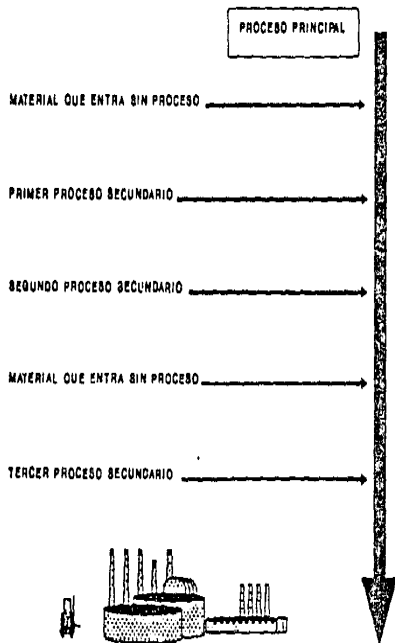
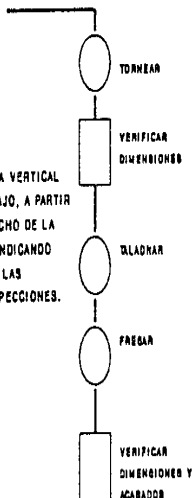


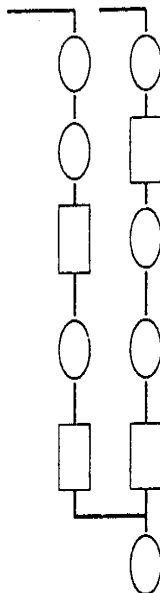
FIGURA V.11

## DIAGRAMA DE PROCESO

SE TRAZA UNA LINEA VERTICAL DE FLUJO HACIA ABAJO, A PARTIR DEL EXTREMO DERECHO DE LA LINEA HORIZONTAL INDICANDO LOS SIMBOLOS PARA LAS OPERACIONES E INSPECCIONES.

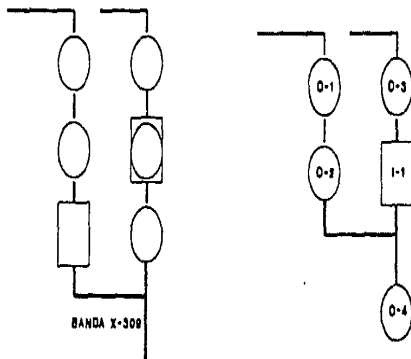


A LA DERECHA SE INDICA UNA DESCRIPCION BREVE DE LA ACTIVIDAD



COMPONENTE SECUNDARIO Y SU ENTRENQUE CON EL COMPONENTE PRINCIPAL.

## DIAGRAMA DE PROCESO



LOS COMPONENTES O PARTES  
COMPRADAS SE INTRODUCEN  
SIMPLEMENTE CON LA  
LINEA HORIZONTAL

TODAS LAS OPERACIONES SE  
ENUMERAN CRONOLÓGICAMENTE  
POR SEPARADO, SEGUN SU  
SECUENCIA LÓGICA.





movimiento se efectúa en el curso normal de una operación o inspección.

Solamente en aquellas situaciones en que los desplazamientos sean considerables al realizarse simultáneamente con una operación o una inspección, se consignará una actividad combinada.

DEMORA

D

Indica un retardo o demora en el desarrollo de los hechos, especialmente cuando el material no puede ser procesado inmediatamente al llegar a la siguiente estación de trabajo.

ALMACENAMIENTO



Indica el depósito de algún objeto, bajo vigilancia, en un almacén o similar, en donde se entrega o recibe por medio de alguna forma de autorización.

La definición para el diagrama de proceso de flujo, de acuerdo a la A.S.M.E., es la siguiente:

Una representación gráfica de todas las operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenamientos que tienen lugar durante un proceso o procedimiento, incluyendo toda la información que se considere necesaria para el análisis, como el tiempo requerido y la distancia recorrida.

El diagrama de proceso de flujo contiene mucho más detalle que el proceso de operaciones y por el hecho de incluir mayor información, es decir, también transportes, demoras y almacenamientos, no se adapta para ensambles complicados.

Se aplica principalmente a un sólo componente de un ensamble o producto y se utiliza para lograr ahorros en la producción de ese componente en particular.

Este diagrama es muy útil para poner de manifiesto costos ocultos, es decir, aquéllos que no aparecen a simple vista y que sólo se descubren cuando se hace un análisis detallado; estos costos ocultos involucran distancias recorridas, demoras y almacenamientos.

La información de identificación del diagrama de proceso de flujo incluye, como el diagrama de operaciones, número de la parte, dibujo o planos, descripción del proceso, método existente o propuesto, fecha, número de estudio, nombre del analista, departamento o sección, etc.

Este diagrama se puede hacer en una forma similar al diagrama de proceso de operaciones, pero se prefiere hacerlo en hojas ya preparadas para ese propósito.

Hay que tener presente que el Estudio de Métodos se puede aplicar a todo tipo de trabajo, incluyendo el del analista.

Como se mencionó, en este diagrama se incluyen otros detalles importantes como son: distancia recorrida y el tiempo transcurrido para las diferentes actividades, inclusive los de las demoras y almacenamientos, que incrementan el costo acumulado.

El diagrama de flujo tiene tres bases posibles:

El operador.- Diagrama que representa lo que hace la persona que trabaja.

El material.- Diagrama que representa lo que se sucede al material a través de las diferentes etapas de su procesamiento o transformación.

El equipo o maquinaria.- Diagrama que muestra como se emplea el equipo o maquinaria.

Al hacer el diagrama se deberá seleccionar la base y apearse a la misma en todas las descripciones.

Las formas impresas para este tipo de diagramas evitan la posibilidad de omitir datos importantes.

Los usos del diagrama de proceso de flujo son:

- Manejo de materiales
- Distribución de planta y equipo
- Tiempos de demoras
- Tiempos de almacenamiento

Es decir, el análisis se deberá concentrar en los recorridos y en los tiempos de demoras y almacenamientos.

#### V.5.3 Diagrama de Recorrido

El análisis de actividades no productivas, distribución de planta y desplazamientos considerables, puede resultar incompleto con el diagrama de proceso de flujo, y es por esto que se utiliza el diagrama de recorrido, el cual viene a ser un plano de la fábrica o zona de trabajo, hecho más o menos a escala, que muestra la posición correcta de las máquinas y puestos de trabajo.

Se recomienda utilizar la simbología correspondiente:

- Trazar por medio de una línea el flujo o la trayectoria que sigue la base del cursograma correspondiente, indicando con una flecha el sentido de la trayectoria.
- Medir en forma aproximada y anotar las distancias que se tienen que recorrer.

Solamente cuando el tiempo y los factores económicos lo permitan, se deberán hacer diagramas de recorrido sofisticados. Dentro de éstos se encuentran diagramas de recorrido tridimensionales, maquetas, modelos, planillas, etc.

Este diagrama tiene los mismos usos que el diagrama de proceso de flujo.

#### V.5.4 Diagramas Hombre-Máquina y Diagramas de Actividades Múltiples

El diagrama Hombre-Máquina es un diagrama que muestra la relación exacta en tiempo entre el ciclo de trabajo de un operador y el ciclo de operación de su máquina.

CURSOGRAMA ANALITICO

1/2

DEPARTAMENTO: Taller de desmontado		PLANO: LTZ					FECHA: Marzo, 1992.		
ACTIVIDAD: Desmontar, limpiar y desengrasar antes de la inspección.		METHO:					OBJETO: Motores de auto- trabaja Leada		
DETALLES DEL METODO		○	→	□	D	▽	RECURSOS	TIEMPO	OBSERVACIONES
ACTUAL	PROPUESTO								
En almacén de motores usados									
Motor recogido									
Transportado hasta grúa siguiente									
Descargado en tierra									
Recogido									
Transportado hasta taller de desmontaje									
Descargado en tierra									
Desmontado									
Piezas principales limpiadas y embaladas									
Inspeccionando estado de piezas									
Piezas llevadas a jaula de desengrasado									
Cargadas para llevar a desengrasar									
Transportadas hasta desengrasadora									
Descargadas en desengrasadora									
Desengrasadas									

(continúa en la siguiente página)

DESCRIPCION	OPERACION	TRANSPORTE	INSPECCION	DEMORA	ALMACENAMIENTO	DISTANCIA
ACTUAL						
PROPUESTO						
DIFERENCIA						

FIGURA V.14

## CURSOGRAMA ANALITICO

2/2

GOBIERNO: Taller de desgrasados		CLASIFICACION: LTZ					FECHA: Marzo, 1992		
ACTIVIDAD: Desmontar, limpiar y desgrasar motores de la tracción.		REVISO					OBJETO: Motores de tracción		
DETALLES DEL METODO		○	→	□	D	▽	DISEÑO (m)	TIEMPO (seg)	OBSERVACIONES
ACTUAL	PROPUESTO								
Sección de desgrasadora									Con grúa de mano
Transportada desde desgrasadora							6		"
Descargada en tierra									
Dejados enfriar									
Transportada hasta banco de limpieza							12		A mano
Limpieza a fondo									
Color rojo ya limpio en una caja							9		"
Esperar transporte									
Cargados en un camión todos los días									
Transportados hasta depto. de inspección de motores							76		En camión
Desarmados y extraídos en la zona de inspección									
Bloque y cilindros de cilindros cargados en camión									
Transportados hasta depto. de inspección de motores							76		"
Descargados en tierra									
Depositados provisionalmente en espera de inspección									

DESCRIPCION	OPERACION	TRANSPORTE	INSPECCION	REMORA	ALMACENAMIENTO	DISTANCIA
ACTUAL	4	21	1	3	1	237.5
PROPUESTO	—	—	—	—	—	—
DIFERENCIA	—	—	—	—	—	—

FIGURA V.14



Una ampliación de este diagrama es el Diagrama de Actividades Múltiples que se define como:

"Un diagrama en el cual las actividades respectivas de varios objetos de estudio -operador(es), máquina(s) y equipo(s)- se registran de acuerdo a una escala de tiempos común para mostrar la relación que existe entre ellos".

Mientras que un diagrama de proceso de operaciones o un diagrama de proceso de flujo se utilizan para analizar un proceso completo o una serie de operaciones, el diagrama hombre-máquina, por su parte, se emplea para analizar y tratar de mejorar una sola estación de trabajo a la vez.

En forma específica se puede decir que el objetivo del diagrama hombre-máquina es el mejor aprovechamiento del tiempo del hombre y el tiempo de la máquina y balancear mejor el ciclo de trabajo.

En la actualidad existen un gran número de máquinas y equipos automáticos; cuando una persona utiliza alguna clase de estas máquinas, muy a menudo permanece ociosa parte del ciclo de trabajo.

El uso de estos tiempos muertos podría aumentar las percepciones del operador y mejorar la eficiencia de la producción.

El aprovechamiento de los tiempos muertos es el objetivo principal en el análisis de este diagrama, pero también se deberá tratar de reducir el tiempo de servicio o preparación, es decir, que la máquina se mantenga en operación a su máxima capacidad. En ocasiones una máquina ociosa cuesta, por hora, casi tanto como en operación.

El primer paso para eliminar el tiempo de espera innecesario del operador y de la máquina consiste en registrar exactamente cuándo trabaja cada uno de ellos y qué es lo que hacen. Lo anterior se puede lograr con un diagrama hombre-máquina.

Los siguientes ejemplos muestran las diferentes técnicas o formas de realizar un diagrama hombre-máquina.

Acoplamiento	Cualitativo	Diagrama hombre-máquina
		Diagrama de actividades múltiples
		Diagrama de grupo
	Cuantitativo	Servicio sincrónico
		Servicio asincrónico
		Servicio al azar
Balanceo de líneas		

#### V.5.4.a Técnicas Cuantitativas para Relaciones Hombre-Máquina

El diagrama hombre-máquina puede ser utilizado para determinar cuántas máquinas se pueden asignar a un operador.

El objetivo primordial de un diagrama hombre-máquina es presentar, en forma gráfica, el grado de utilización del tiempo del operador y del tiempo de la máquina y posteriormente hacer un análisis para lograr un máximo aprovechamiento.

- a) Dependiendo del trabajo en particular de la maquinaria utilizada, una de las posibles soluciones para lograr el mejor aprovechamiento del tiempo del operador se consigue asignando a éste varias máquinas.
- b) Por otra parte, cuando analizamos el diagrama de actividades múltiples, que es una ampliación del diagrama hombre-máquina, el problema puede consistir en determinar cuántos operadores es conveniente asignar cuando se trabaja en conjunto con una o varias máquinas.

El número óptimo para los dos casos, máquinas o personas, quedará determinado por los costos.

Para este tema nos limitaremos al estudio del caso (a); los problemas del caso (b) se atacan en una forma similar, pero en ocasiones pueden ser muy complejos, ya que en tal



situación pueden estar involucrados obreros con diferentes habilidades, capacidades y tareas.

Hay que aclarar que un diagrama de actividades múltiples es aquél en el que interviene por lo menos un equipo o máquina.

Aquellas tareas en las que se trabaja en grupo, pero solamente intervienen personas, (no hay equipos ni máquinas), se analizan en una forma diferente.

Después de analizar el diagrama hombre-máquina y ver la posibilidad de asignar más de una máquina al operador, el número óptimo se determina matemáticamente.

Las relaciones hombre-máquina que podemos tener son básicamente de dos tipos:

- Servicio Sincrónico
- Servicio Asincrónico (completamente al azar)

#### SERVICIO SINCRONICO

Para servicio sincrónico tenemos aquellos casos en que se sabe bastante bien cuándo hay que atender a una máquina y que tiempo se requiere para hacerlo.

Es decir, se conoce con exactitud:

- El tiempo del ciclo de trabajo de la máquina, que no varía.
- El tiempo del servicio que el operador le da a la máquina, cuya variación es mínima.

Para ambos casos de servicio, sincrónico y al azar, es muy difícil que se presente la situación ideal en que el operador como las máquinas estén siempre ocupados. Para el servicio sincrónico el número de máquinas que se le pueden asignar a un operador se puede calcular de la manera siguiente:

$$N = \frac{O + M}{O}$$

donde:

- N = Número de máquinas asignadas al operador  
 O = Tiempo total de servicio del operador por máquina y por ciclo  
 M = Tiempo total de trabajo automático por máquina y por ciclo

Por ejemplo:

- O = 2 min.  
 M = 6 min.

$$N = \frac{O + M}{O} = \frac{2 + 6}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ máquinas}$$

Gráficamente, esto quedaría representado como se ilustra en la figura V.16.

El caso anterior es una situación ideal ya que la relación entre el tiempo total de trabajo por máquina y el tiempo total de servicio del operador da un número entero. Raras veces se presentan estos casos en la realidad.

En el ejemplo anterior también se consideró que no hay que cambiar de una instalación (máquina) a otra, o más bien que dicho tiempo es despreciable.

En el ejemplo anterior, si aumentamos el número de máquinas, es decir, a 5, 6 ó más máquinas, algunas de ellas estarían ociosas una parte del tiempo, o sea, completamente paradas, sin que se les estuviera dando servicio; esto se ilustra en la figura V.17.

Por otra parte, si se disminuyera el número de máquinas, sería el trabajador quien estaría ocioso una parte del tiempo; esto sucedería si se le asignaran sólo 3, 2 ó 1 máquina, lo cual se ve en la figura V.18.

SERVICIO SINCRONICO. SITUACION IDEAL EN QUE EL  
OPERADOR Y LAS MAQUINAS SIEMPRE ESTAN OCUPADAS

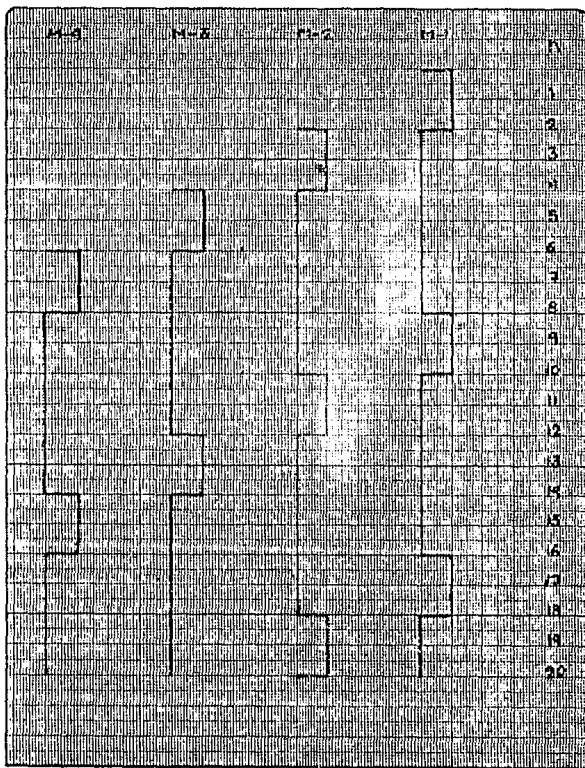
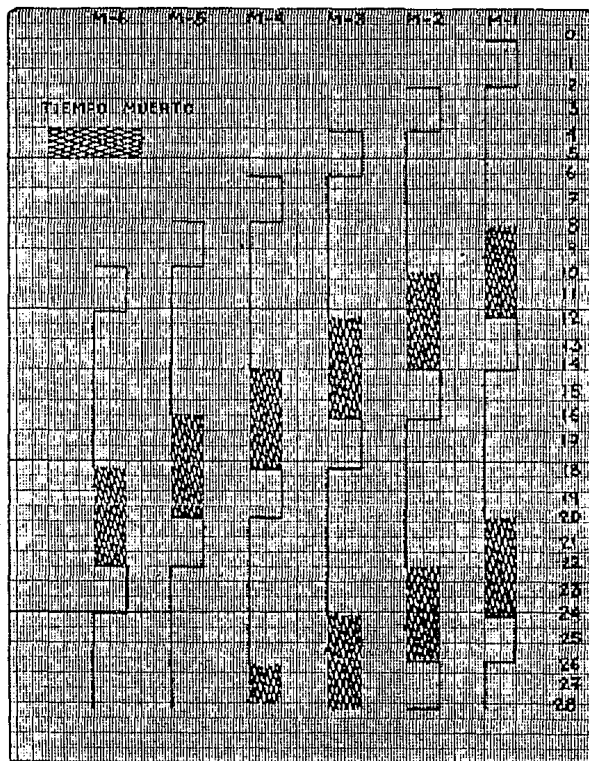
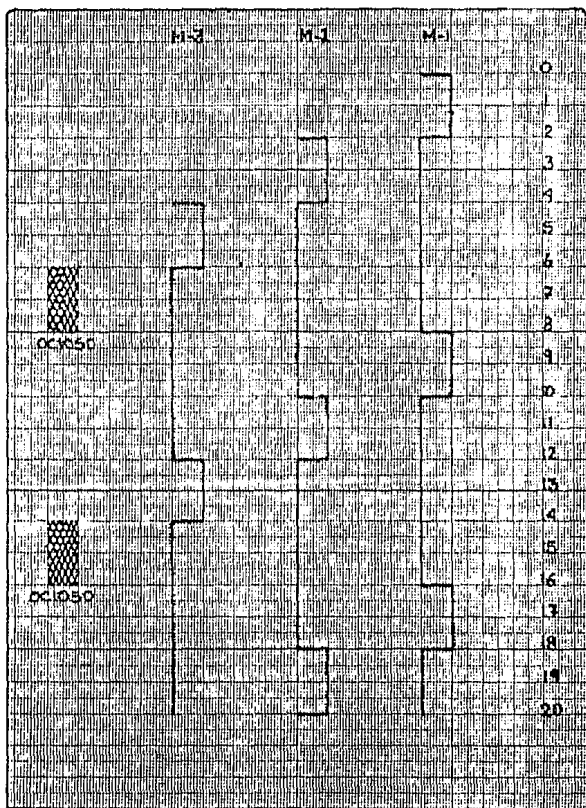


Figura V.16

**SERVICIO SINCRONICO. SITUACION EN QUE ALGUNAS  
MAQUINAS ESTAN COMPLETAMENTE PARADAS**



SERVICIO SINCRONICO. SITUACION EN QUE EL  
TRABAJADOR ESTE OCIOSO PARTE DEL TIEMPO



Lo mencionado anteriormente es sólo una suposición, pero también sería el caso que se presentaría si el resultado de  $N$  no hubiera sido un número entero.

Supongamos que el resultado del ejemplo, con otros datos para  $M$  y  $O$ , hubiera sido 4.3 ó 4.5 ó 4.7 ó 4.8 máquinas.

¿Cuántas máquinas se deben asignar al operador? ¿4 ó 5? El criterio para determinar el número de máquinas en tales casos será el costo mínimo total por pieza o por lote de piezas.

Para ésto es necesario tener el costo de las máquinas y el salario del operador (conviene expresar costos y salarios en \$/hr.)

Posteriormente con estos datos, por medio de técnicas cuantitativas, podemos determinar el costo total esperado ya sea para  $N$  máquinas ó  $N + 1$  máquinas.

Al hablar de  $N$  ó  $N + 1$  máquinas nos referimos a lo siguiente:

$N$  = Número entero inmediato inferior cuando obtenemos un valor fraccionario en la fórmula.

$N + 1$  = Número entero inmediato superior.

Antes de determinar el costo total para  $N$  ó  $N + 1$  máquinas conviene hacer otra observación respecto al ejemplo anterior. Cuando existe un tiempo más o menos considerable para caminar de una estación a otra, no podemos utilizar la fórmula  $N = O + M/O$  pues el resultado no sería correcto.

Consideremos el siguiente caso:

$O = 1$  min.,  $M = 6$  min.,  $W = 1$  min.

$W$  = Tiempo para caminar de una máquina a otra.

¿Cuántas máquinas hay que asignar al operador?

Si consideramos a  $W$  como parte de  $O$  tendríamos:

$$\begin{aligned} O_1 &= O + W = 1 + 1 = 2 \\ M &= 6 \end{aligned}$$

y

$$N = \frac{O_t + M}{O_t} = \frac{2 + 6}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

Al observar ésto gráficamente en la figura V. 9 vemos que cada máquina va a estar ociosa 1 min., sin que se le esté dando servicio.

En conclusión, no se le pueden asignar 4 máquinas al operador; el número de máquinas debe ser menor.

Necesitamos otra fórmula para determinar el número exacto de máquinas que podemos asignar al operador.

Esta fórmula es:

$$N = \frac{L + M}{L + W}$$

donde:

- L = Tiempo de carga y descarga
- M = Tiempo de máquina (trabajo automático)
- W = Tiempo para caminar de una instalación a otra.

$$\text{Para nuestro caso: } N = \frac{1 + 6}{1 + 1} = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ máquinas}$$

Este es pues el número exacto de máquinas que se le deben asignar al operador.

Aquí también se podría tener el caso ideal en que tanto el operador como las máquinas estén ocupadas todo el tiempo del ciclo, excepto durante el período normal de carga y descarga de la máquina. Esta situación difícilmente se presenta en la realidad.

En las siguientes fórmulas se utilizarán los siguientes términos:

- $TEC_A$  = Costo de producción por hora de una máquina.  
 $TEC_N$  = Costo de producción por ciclo de una máquina.  
 $N$  = Número entero inmediato inferior (máquinas).  
 $N + 1$  = Número entero inmediato superior (máquinas).  
 $K_1$  = Salario del operador en \$/hr.  
 $K_2$  = Costo por máquina en \$/hr.

$$TEC_{A(N)} = \frac{K_1 + NK_2}{N}$$

$$TEC_{A(N+1)} = \frac{K_1 + (N + 1)K_2}{N + 1}$$

Las fórmulas anteriores representan, respectivamente, el costo de producción por hora de una máquina, para  $N$  y  $N + 1$  asignaciones de máquinas.

Sin embargo, estas fórmulas no permiten determinar el número óptimo de máquinas, ya que no toman en cuenta el ciclo de trabajo.

Para saber cuál es el número óptimo de máquinas que hay que asignar, se deben conocer los costos de producción por ciclo de una máquina, tanto para  $N$ , como para  $N + 1$  asignaciones de máquinas.

Veamos el caso de  $N$  máquinas:

En la figura V.20 se puede ver que cuando asignamos  $N$  máquinas, el ciclo de trabajo está representado por  $(L + M)$ ; por lo tanto:

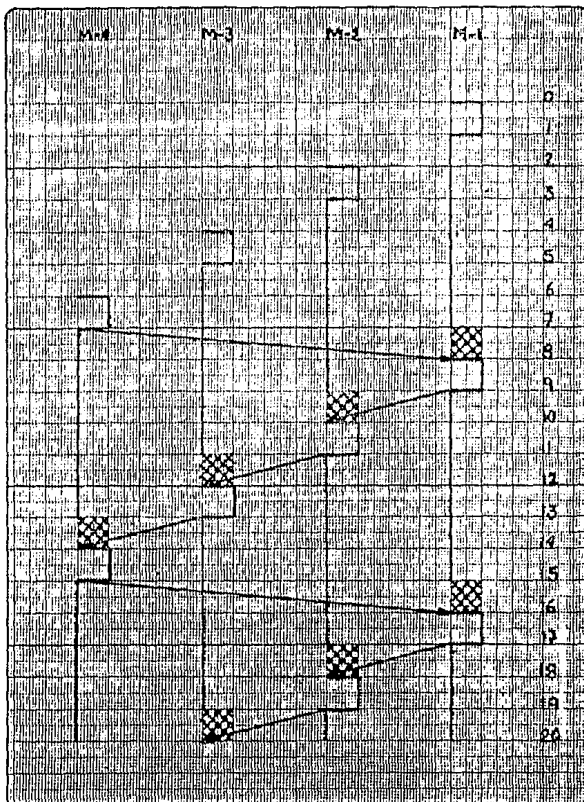
$$N = \frac{(L + M)(K_1 + NK_2)}{N}$$

Veamos ahora el caso de  $N + 1$  máquinas:

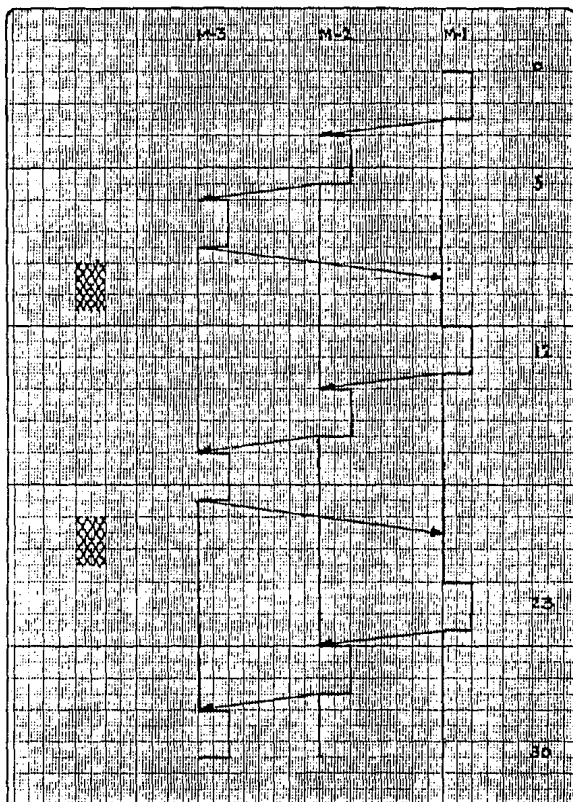
También podemos observar en la figura V.21 que cuando se asignan  $N + 1$  máquinas, el ciclo de trabajo está



**SERVICIO SINCRONICO. CONSIDERANDO EL TIEMPO  
QUE TARDA EL OPERADOR EN LLEGAR A UNA  
MAQUINA CUANDO ESTE TIENE ASIGNADAS  
VARIAS MAQUINAS**



SERVICIO SINCRONICO. CICLO DE TRABAJO CUANDO  
EL OPERADOR TIENE ASIGNADAS "n" MAQUINAS



**SERVICIO SINCRONICO. CICLO DE TRABAJO CUANDO  
EL OPERADOR TIENE ASIGNADAS "n-1" MAQUINAS**

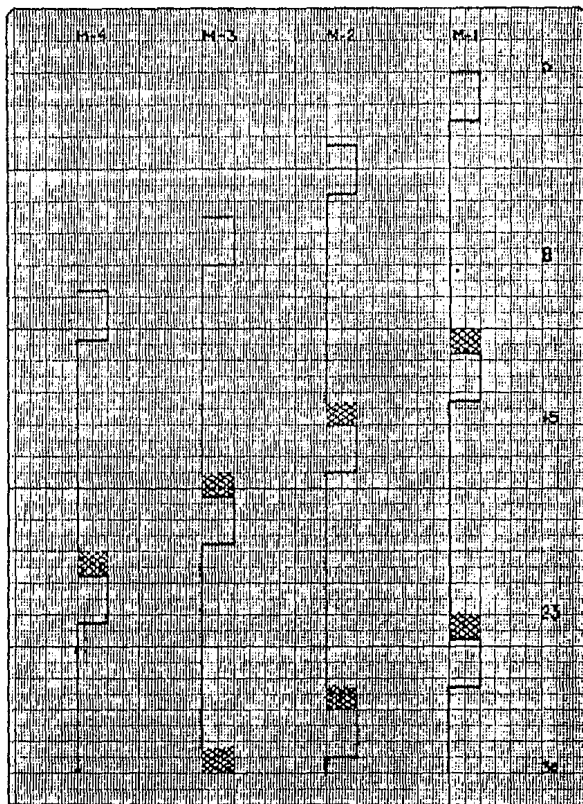


Figura V.21

representado por  $L + M + T_p$ , en donde  $T_p$  es el tiempo muerto por máquina.

Como  $T_p$  va a variar en cada caso dependiendo de los valores  $L$ ,  $M$  y  $W$ , sería necesario graficar todos los casos para obtener el valor de  $T_p$ .

Si analizamos con más detalle la última figura se puede ver que  $L + M + T_p = 4(L + W)$ . y que el factor 4 corresponde en realidad a  $(N + 1)$ ; por lo tanto, el ciclo de trabajo queda determinado por  $(N + 1)(L + W)$ . Este último valor se aplica para cualquier tiempo que se asigne a  $L$ ,  $M$  y  $W$ .

$$TEC_{B(N+1)} = \frac{(N + 1) (L + W) [K_1 + (N + 1) K_2]}{N + 1}$$

Simplificando la fórmula anterior queda:

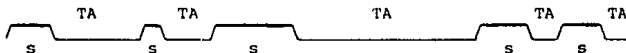
$$TEC_{B(N+1)} = (L + W) [K_1 + (N + 1) K_2]$$

Para determinar el número óptimo de máquinas se calculan los costos para  $TEC_{B(N)}$  y para  $TEC_{B(N+1)}$ ; el costo menor nos indicará el número óptimo de máquinas que hay que asignarle al operador.

#### SERVICIO ASINCRONICO

Veamos ahora la relación hombre-máquina para servicio completamente al azar.

Este servicio se refiere a aquellos casos en que no se sabe cuándo, ni cuánto tiempo se le tiene que dar servicio a una máquina, y se presenta principalmente con máquinas automáticas, en donde una máquina podría trabajar de la siguiente forma:



s.- En servicio

TA.- Trabajo automático

Sin embargo, aunque no se conozca en qué momentos se le debe dar servicio a la máquina, se pueden obtener datos acerca del promedio del tiempo en que hay que darle servicio y del promedio del tiempo en que está ocupada, basándose en datos de producción o registros anteriores.

Con estos promedios y auxiliándonos del cálculo de probabilidades podemos determinar en forma aproximada el número de máquinas que se le pueden asignar a un operador.

Los términos sucesivos de la expansión binomial darán una aproximación de la probabilidad de tener 0, 1, 2, 3, ..... n, máquinas sin trabajar o trabajando.

De esta forma tenemos:

p = promedio de tiempo productivo (porcentaje)  
 q = promedio de tiempo de servicio (porcentaje)

Ejemplo:

Si tenemos una máquina y sabemos que esa máquina se encuentra trabajando el 60% del tiempo y recibe servicio el 40% del tiempo, determine las siguientes probabilidades para dos máquinas de este tipo, cuando se le asignan a un solo operador.

- Probabilidad de que en un momento dado ninguna máquina esté parada.
- Probabilidad de que en un momento dado las dos máquinas estén paradas.
- Probabilidad de que en un momento dado una sola máquina esté parada.

M1	M2	
.60	.60	$.60 \times .60 = .36$
	.40	$.60 \times .40 = .24$
.40	.60	$.40 \times .60 = .24$
	.40	$.40 \times .40 = .16$
		<u>1.00</u>

La tabla anterior nos dice que la probabilidad de que ninguna máquina esté parada es de .36, o sea, del 36%. La probabilidad de una máquina parada es de .48, es decir, .24 + .24; en un caso es la máquina 1 la que está parada y en el otro caso es la máquina 2 la que está parada. Se suman estos dos valores pues los dos representan la probabilidad de una máquina parada. Finalmente, la probabilidad de que las dos máquinas estén paradas es de .16, o sea del 16%.

Veamos ahora otro ejemplo más complejo:

Se ha determinado por medio de datos de producción que para cierto tipo de máquinas X, el tiempo de trabajo automático promedio es de 70% y el tiempo de servicio de 30%.

El analista ha considerado que un operador puede atender 4 máquinas de ese tipo; determine la probabilidad de 0, 1, 2, 3 y 4 máquinas paradas al mismo tiempo.

En la siguiente hoja podemos ver la forma tabular de obtención de dichas probabilidades.

Como se ve, se pueden tener un total de 16 combinaciones.

La forma tabular de resolver el problema anterior es bastante laboriosa, y se complica cuando aumenta el número de máquinas.

Los resultados anteriores se obtienen más fácilmente aplicando el teorema binomial:

$$(p + q)^n \quad n = \text{Número de máquinas asignadas}$$

Hay que tener presente que los valores de "p" y de "q" son porcentajes y que se expresan en forma decimal.

Desarrollando el binomio para  $n = 4$  máquinas, tendríamos:

$$(p + q)^4 = p^4 + 4p^3 q + 6p^2 q^2 + 4pq^3 + q^4$$

Los términos del binomio desarrollado nos dan la probabilidad para 0, 1, 2, 3 y 4 máquinas paradas respectivamente.

También se debe notar que los coeficientes de los términos nos indican el número de veces que se presentan cada una de las situaciones y que la suma de estos coeficientes representa el total de combinaciones que se pueden presentar.

Sustituyendo valores para nuestro ejemplo, tenemos:

$$\begin{aligned}
 (.7 + .3)^4 &= (.7)^4 + 4(.7)^3(.3) + 6(.7)^2(.3)^2 + 4(.7)(.3)^3 + (.3)^4 \\
 &= .2401 + .4116 + .2646 + .0756 + .0081
 \end{aligned}$$

Esos mismos resultados se pueden obtener de la tabla:

No. de máquinas paradas	Probabilidad (fórmula)	Probabilidad (tabla)
0	0.2401	0.2401(1) = 0.2401
1	0.4116	0.1029(4) = 0.4116
2	0.2646	0.0441(6) = 0.2646
3	0.0756	0.0189(4) = 0.0756
4	0.0081	0.0081(1) = 0.0081
		1.0000

Vamos a determinar ahora el tiempo perdido bajo estas condiciones:

No. de máquinas paradas	Probabilidad	Hrs.-maq. perdidas en 8 horas.
0	0.2401	0
1	0.4116	0
2	0.2646	1(0.2646)8 = 2.1163
3	0.0756	2(0.0756)8 = 1.2096
4	0.0081	3(0.0081)8 = 0.1944
		3.5208

(#) El operario puede estar atendiendo la máquina parada, pues, en ese caso solo hay una máquina parada, y no se consideran hrs-maq perdidas pues le está dando servicio a la máquina. Es lo mismo que sucede para 2, 3 ó 4 máquinas paradas. Las hrs-maq perdidas se estiman para 1, 2 y 3 máquinas respectivamente, ya que en esos casos a alguna de las máquinas se le estará dando servicio.

El valor de 3.5208 hrs. es el tiempo perdido por las 4 máquinas en 8 horas.

Para una sola máquina será:

$$\frac{3.5208}{4} = 0.8802 \text{ hrs. perdidas por cada máquina en 8 hrs.}$$

El porcentaje de tiempo perdido por máquina será:

$$\frac{0.8802}{8} = 0.110025 \dots\dots\dots 11\% \text{ aproximadamente}$$

Obviamente, entre menos máquinas se asignen, menor será la proporción de tiempo perdido.

La decisión del número óptimo de máquinas que se deben asignar se basa, al igual que para el servicio sincrónico, en el menor costo total esperado por pieza.

Este costo, para cualquier combinación o asignación de máquinas, se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{TEC} = \frac{K_1 + NK_2}{\text{Piezas de N máq. por hora}}$$

donde:

- $K_1$  = Salario del operador por hora.
- $K_2$  = Costo por hora de cada máquina.
- $N$  = Número de máquinas asignadas.



Las piezas por hora de N máquinas se pueden calcular conociendo:

- El tiempo promedio de máquina para hacer una pieza.
- El tiempo promedio de servicio de cada máquina por pieza.
- Tiempo muerto perdido.

## V.6 Métodos de Trabajo y Movimientos en el lugar de Trabajo

### V.6.1 Movimientos Fundamentales

Frank B. Gilbreth en sus primeros trabajos de Estudio de Movimientos desarrolló ciertas subdivisiones o eventos que él consideró comunes a toda clase de trabajo manual. Introdujo el término Therblig (Gilbreth deletreado al revés), a fin de tener una palabra corta con la cual referirse a cualquiera de las 17 subdivisiones elementales que podían presentarse en un ciclo de movimientos.

De esta forma un "therblig" quedó definido como: "cada división precisa de movimiento de acuerdo al propósito con que se realiza". Este nombre designa tanto a los movimientos como a ciertas razones de ausencia de movimientos.

No todos estos 17 therbligs son elementos puros o fundamentales en el sentido de que no puedan todavía ser subdivididos, sin embargo, es la mejor clasificación de movimientos que se puede tener. Un analista experto no tendrá dificultad en usar los therbligs en una aplicación industrial.

Los therbligs son usados básicamente para el estudio de micromovimientos de ciertas tareas, particularmente aquellas de ciclos muy cortos que se repiten cientos de veces diariamente.

Los therbligs se refieren básicamente al movimiento del cuerpo humano (especialmente las manos) y a las actividades mentales relacionados con ellos.

Gracias a ésto, el trabajo se puede describir con mayor precisión y detalle que en cualquier otra técnica de registro, sin embargo, se requiere de mucha práctica para

reconocerlos y poder utilizarlos adecuadamente. Por lo que se refiere a su desarrollo también han sufrido modificaciones; por tal razón, los veremos tal como fueron desarrollados por Gilbreth.

En la práctica se hace referencia a cada uno de ellos por medio de letras, símbolos y a veces hasta colores.

En el cuadro que se presenta de los therbligs se podrá notar que son en total 16. El therblig "sostener" fue añadido en años recientes por las personas que emplean la técnica de micromovimientos.

#### V.6.2 Diagrama Bimanual

Este diagrama también es conocido como diagrama de proceso del operador.

Es un diagrama en donde se consignan las actividades de las dos manos (o extremidades) del operador, indicando su relación mutua.

Este diagrama es muy útil para estudiar operaciones de un alto grado de repetición, enfocándose a la mejora en la utilización del cuerpo humano, el arreglo de áreas de trabajo y el diseño de herramientas y equipo.

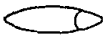



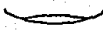

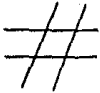
Actividades que en el diagrama de proceso de operaciones o en el diagrama de proceso de flujo aparecen como una sola operación, en el diagrama bimanual se descomponen en varias actividades elementales.

Una de las formas de desarrollar este diagrama consiste en la descripción de las actividades de las manos utilizando la misma simbología que se utilizó en el diagrama de proceso de flujo; sin embargo, en este diagrama, los símbolos tienen un significado diferente que incluye más detalle.

Como se podrá observar en el cuadro correspondiente el símbolo de inspección no está incluido. La razón es la siguiente: en un trabajo manual, al examinar o verificar, los movimientos utilizados caen dentro de alguna de las

CUADRO DE THERBLIGS

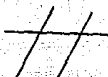
Figura V.22

SIMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCION
	Buscar	La parte del ciclo durante la cual las manos o los ojos tratan de localizar el objeto o sentirlo.
	Encontrar	Ocurre al final de Therblig "buscar" y representa más una reacción mental que un movimiento.
	Seleccionar	La elección de un objeto de entre varios.
	Asir	El acto de tener posesión de un objeto. Comienza cuando la mano toca un objeto y termina cuando el operador tiene control de él.
	Transportar con carga	Requiere que se haga un cambio en la localización del objeto.
	Posicionar	La orientación de una parte con otra después que el "transportar con carga" se ha efectuado. Es posible posicionar un objeto durante el Therblig "transportar con carga".
	Ensamblar	Consiste en la colocación de un objeto sobre o dentro de otro objeto con el cual se vuelve una parte íntegra.



Usar

Se puede referir a un número infinito de casos. Consiste en la manipulación de una herramienta e incluye poner un objeto con otro los cuales permanecen juntos.



Desensamblar

Consiste en la separación de un objeto de otro del cual formaba una parte integral.



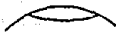
Inspeccionar

Probar una pieza para verificar si está de acuerdo o no con la especificación. Puede ser mental o realizada durante otro Therblig. Puede emplear la vista, el oído, el tacto, el olfato y el gusto.



Preposicionar

Lo mismo que posicionar, con la excepción de que puede ser asido en la posición en la cual será sostenido durante el uso.



Soltar carga

La parte del ciclo en la cual la mano deja ir (suelta) el objeto asido.



Transportar en vacío

Consiste en mover la mano vacía para alcanzar un objeto.



Descansar para vencer la fatiga

Un factor de fatiga o demora o tolerancias concedidas para permitir que el trabajador se recobre de la fatiga incurrida por su trabajo.



Demora inevitable

Falla o interrupción del proceso (máquina, material, herramienta). Demora causada por una situación tal que impide una parte del cuerpo trabaje mientras la otra sí.



Demora  
evitable

Cualquier demora del operador,  
de la cual se hace  
responsable y sobre la cual  
tiene control.



Planear

Una reacción mental que  
precede al movimiento físico,  
esto es, decidir cómo  
proceder con el trabajo.



Sostener

Forma de asir prolongado.  
Denota la retención de un  
objeto después que ha sido  
asido. No se lleva a cabo  
movimiento del objeto.

clasificaciones anteriores (operación, transporte, sostenimiento o demora); sin embargo, el símbolo de inspección puede utilizarse para hacer resaltar la actividad de inspección.

La clave para determinar en que clasificación cae cada actividad es la siguiente:

- Si la mano no está haciendo nada, ni siquiera sosteniendo, se consigna una espera. **D**
- Si la mano está sosteniendo algún objeto o herramienta para ayudar en la ejecución, se consigna un sostenimiento. **∇**
- Si la mano se mueve para alcanzar o cambiar de lugar algún objeto, se tendrá un transporte. **→**
- Si la mano se mueve para alcanzar o cambiar de lugar algún objeto, se tendrá un transporte. **○**

En lugar de la simbología también se pueden utilizar las siguientes abreviaciones:

O	-----	Operación
TL	-----	Transportar con carga (mover)
TE	-----	Transportar en vacío (alcanzar)
H	-----	Sostener
R	-----	Demora

Como otra alternativa se pueden utilizar las abreviaciones y símbolos correspondientes a los therbligs y, de esta forma visualizar con más detalle la importancia de cada actividad.

#### Elaboración del Diagrama Bimual:

- Registrar la información más importante de encabezado, relacionada con la operación.
- Elaborar un croquis del área de trabajo. Este es de gran importancia tomando en consideración que en este diagrama se busca mejorar el arreglo del área de trabajo y el

## DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

Figura V.23



### OPERACION

Se utiliza para actos tales como: asir, posicionar, ensamblar, soltar, etc., alguna herramienta, pieza o material.



### TRANSPORTE

Se emplea para representar el movimiento de la mano (o extremidad) hacia el trabajo, herramienta o material en vacío o con carga (alcanzar y mover).

D

### ESPERA

En este caso se emplea para indicar el tiempo en el cual la mano no trabaja.



### SOSTENIMIENTO

(El término almacenamiento no se usa en este caso). Se utiliza para indicar el acto de sostener alguna pieza, herramienta o material con la mano cuya actividad se está consignando.

## DIAGRAMA BIMANUAL

RESUMEN	PRESENTE	PROPUESTO	DIFERENCIA	OPERACION:  OPERARIO:  ANALISTA:  FECHA:			
○							
→							
▽							
D							
TOTAL				DIAGRAMA:			

MANO IZQUIERDA	○	→	▽	D	○	→	▽	D	MANO DERECHA

FIGURA V.24



- diseño de las herramientas y el equipo, los cuales a su vez afectan directamente a los movimientos.
- Estudiar varias veces el ciclo de movimientos antes de comenzar a registrarlos.
  - Registrar las actividades de cada mano por separado (breve descripción).
  - Iniciar el registro con la mano que inicia el ciclo, o bien, con la que realiza más trabajo.
  - Registrar las actividades de la mano izquierda y de la mano derecha, sólo cuando tienen lugar al mismo tiempo.
  - Indicar el símbolo correspondiente a la actividad.
  - Registrar todo lo que hace el operador y evitar combinar las operaciones con los transportes.
  - Hacer un resumen de las actividades de cada mano.

### V.6.3 Principios de la Economía de Movimientos

Hay varios principios de economía de movimientos que son resultado de la experiencia y constituyen una base excelente para idear métodos mejores en el lugar de trabajo. Frank Gilbreth, fundador del estudio de movimientos, fue el primero en utilizarlos, y posteriormente fueron ampliados por otros especialistas, particularmente el profesor Ralph M. Barnes. Se pueden clasificar en tres grupos:

- A.- Utilización del cuerpo humano.
- B.- Distribución del lugar de trabajo.
- C.- Modelo de las máquinas y herramientas.

Sirven por igual en talleres y oficinas, y, aunque no siempre es posible aplicarlos, permiten mejorar la eficacia y reducir la fatiga del trabajo manual.

#### A.- Utilización del cuerpo humano.

Siempre que sea posible:

- 1.- Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.
- 2.- Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los períodos de descanso.
- 3.- Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente en direcciones opuestas y simétricas.

- 4.- Los movimientos de las manos y del cuerpo deben caer dentro de la clase más baja con que sea posible ejecutar satisfactoriamente el trabajo.
- 5.- Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.
- 6.- Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.
- 7.- Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.
- 8.- El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponerse de modo que se puedan hacer con un ritmo fácil y natural siempre que sea posible.
- 9.- El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.

#### B.- Arreglo del lugar de trabajo.

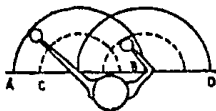
- 1.- Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.
- 2.- Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitarán, para no tener que buscarlos.
- 3.- Deben utilizarse depósitos y medios de "abastecimiento por gravedad" para que el material llegue tan cerca como sea posible del punto de utilización.
- 4.- Las herramientas y materiales deben situarse dentro del área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible.
- 5.- Los materiales y las herramientas deben situarse en la forma que dé a los movimientos el mejor orden posible.
- 6.- Deben utilizarse, siempre que sea posible, eyectores y dispositivos que permitan al operario "dejar caer" el trabajo terminado sin necesidad de utilizar las manos para despacharlo.
- 7.- Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarle al obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se siente en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.
- 8.- El color de la superficie de trabajo deberá contrastar con el de la tarea que se realiza, para reducir así la fatiga de la vista.

AREAS DE MAS FACIL ALCANCE

Figura V.25

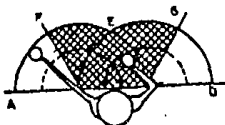
MANO  
IZQUIERDA

MANO  
DERECHA



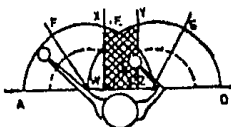
HORIZONTAL (A)

Areas máximas de alcances para los brazos izquierdo y derecho (las líneas interrumpidas encierran el área cubiertas por las manos cuando el brazo tiene como pivote el codo doblado).



HORIZONTAL (B)

Area dentro de la cual los objetos pequeños son más fácilmente tomados.



HORIZONTAL (C)

Area en la cual el ojo puede seguir ambas manos trabajando simultáneamente y simétricamente.



VERTICAL

Areas máximas de alcance.

### C.- Modelo de las máquinas y herramientas.

- 1.- Debe evitarse que las manos estén ocupadas "sosteniendo la pieza" cuando ésta pueda sujetarse con una plantilla, brazo o dispositivo accionado por el pie.
- 2.- Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas.
- 3.- Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como para escribir a máquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad inherente a cada dedo.
- 4.- Los mangos, como los utilizados en las manivelas y destornilladores grandes, deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de superficie esté en contacto con la mano. Es algo que tiene especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre el mango.
- 5.- Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano deben situarse en posiciones que permitan al operario manipularlos con mínimo de cambios de posición del cuerpo y un máximo de ventaja mecánica.

Estos principios pueden ser la base de una lista de verificación para facilitar la disposición del lugar de trabajo y evitar omisiones.

#### V.6.4 Estudio de Micromovimientos

Existen ciertas clases de operaciones,, particularmente las de ciclos muy cortos y que se repiten miles de veces, como por ejemplo: empaquetar o encajonar artículos, en donde vale la pena observar detenidamente la operación para poder determinar donde es posible ahorrar movimientos y esfuerzos y ordenar la sucesión de gestos de manera que el operario pueda repetir la operación con el mínimo de esfuerzo y de fatiga. Las técnicas que se utilizan frecuentemente para este tipo de movimientos se les denomina colectivamente "Estudio de Micromovimientos".

Las técnicas de micromovimientos se basan en la idea de dividir la actividad humana por movimientos o grupos de movimientos (denominados therbligs) según el propósito con que se hagan.

Los therbligs permiten describir el trabajo con mucho mayor precisión y detalle que cualquier otro de los procedimientos y en general se usan para operaciones de producción en serie.

### V.6.5 El Simograma

El simograma es una de las técnicas de registro de los micromovimientos, conocido también como diagrama de movimientos simultáneos.

El simograma es un diagrama, a menudo basado en un análisis cinematográfico, que se utiliza para registrar simultáneamente, con una escala de tiempos común, los therbligs o grupos de therbligs referentes a diversas partes del cuerpo de uno o varios trabajadores.

El simograma es la representación en micromovimientos del cursograma para el operario. Como los simogramas se utilizan principalmente para operaciones de corta duración, que a menudo se ejecutan con extraordinaria rapidez, suele ser necesario componerlos basándose en películas de la operación que se puedan detener en cualquier punto o proyectar con cámara lenta.

### V.6.6 El Uso de Películas

Las películas suelen utilizarse en el Estudio de Métodos de la siguiente forma:

1.- MEMOTOGRAFIA. Técnica para registrar movimientos en que se saca una sucesión de fotografías con una cámara adaptada para que las imágenes se fijen a intervalos más largos que lo normal, o sea, por lo general, de 1/2 segundo a 4 segundos.

La cámara se coloca de modo que abarque toda la zona de trabajo y se regula para que saque un promedio de una o dos imágenes por segundo en lugar de las veinticuatro habituales. Se puede así condensar en un minuto las actividades de diez o veinte y obtener un cuadro muy rápido de la escena general, que a su vez permita localizar los principales movimientos inútiles y adoptar medidas para eliminarlos. Este método de análisis, aplicado desde hace pocos años, ofrece grandes posibilidades y es muy económico.

2.- ESTUDIO DE MICROMOVIMIENTOS. Las ventajas de las películas sobre la observación directa son:

- a) registran más detalles que el ojo humano
- b) dejan una constancia más exacta que el método del lápiz, papel y cronómetro
- c) son más prácticas
- d) proporcionan un verdadero documento
- e) contribuyen al perfeccionamiento de los propios especialistas del trabajo.

3.- READAPTACION PROFESIONAL DE LOS OPERARIOS.- Para este propósito como para el análisis hay que proyectar a veces las películas con el máximo de lentitud, en cuyo caso se filman a gran velocidad las operaciones que se desean examinar.

#### V.6.7 Otras técnicas

Faltan por describir una o dos técnicas más de registro y análisis que solamente se han mencionado al principio de este documento y mencionar el digrama de recorrido que ya se ha explicado e ilustrado anteriormente.

Las dos técnicas son:

El CICLOGRAMA es el registro de un trayecto habitualmente trazado por una fuente luminosa continua en una fotografía, con preferencia estereoscópica. Para dibujar así el trayecto de una mano, por ejemplo, se pide al trabajador que se ponga una sortija con una lucécita que deja la marca en la fotografía. O bien, si se quiere ver el camino que recorre mientras ejecuta su trabajo, se le coloca la lucécita en el casco o gorra que lleve.

El CRONOCICLOGRAMA es una variedad de ciclograma trazado con una luz intermitente regulada de tal modo que el trayecto quede marcado por una serie de trazos en forma de lágrima cuya punta señale la dirección y cuyos espacios indiquen la velocidad del movimiento.

Estas dos últimas técnicas tienen muy poca aplicación, sin embargo, son muy útiles.

## V.7 Factor Humano en la Aplicación del Estudio de Métodos

Aún cuando el avance de la tecnología ha logrado reducir el esfuerzo humano en la realización del trabajo, el hombre siempre tendrá que efectuar trabajo tanto física como mentalmente.

En todo estudio de métodos, las personas son el factor más importante.

El estudio de métodos, por lo general, produce una serie de reacciones desfavorables para su desarrollo.

Hay tres categorías de personas involucradas en el estudio de métodos:

- La gerencia
- Los trabajadores
- El propio analista

Todas ellas pueden crear situaciones desfavorables para el Estudio de Métodos.

Los trabajadores, aunque no son el factor más importante en el orden jerárquico, si son el recurso más importante en el aspecto trabajo, ya que ellos son la fuerza principal de producción y los más numerosos.

### TRABAJADORES

La simplificación del trabajo o el estudio de métodos involucra un cambio. Las actitudes o sentimientos del trabajador ante este cambio son las siguientes:

El trabajador se pregunta sobre los aspectos económicos del estudio del trabajo; acerca de si obtendrá o no beneficios, o sólo se beneficiarán los gerentes (la dirección); es decir, está conciente de los beneficios económicos, pero si él no participa de ellos, no cooperará.

Piensa que probablemente con el aumento de la productividad se reducirán los recursos (incluyendo la mano de obra), y no habrá trabajo para él; por lo tanto existe la inseguridad y temor a perder el trabajo.

- Considera que el estudio traerá como resultado que se le critique la forma en que ha estado realizando su trabajo.
- A veces, concientes de la importancia del Estudio de Métodos, estarán dispuestos a cooperar, pero debido a influencias de otras personas cambiarán su modo de pensar.

Alguna, o una combinación de estas reacciones pueden presentar un serio obstáculo para la aplicación fructífera de la simplificación del trabajo.

Esto se debe atacar de la siguiente manera:

- Explicarles el porqué y el cómo del Estudio de Métodos; de esta forma habrá más confianza; la gente teme a lo que desconoce.
- La gerencia deberá garantizar a la gente implicada la seguridad de su trabajo, y que se les mantendrá dentro de la compañía, con el mismo salario, en caso de que alguna actividad desaparezca a consecuencia del Estudio de Métodos.
- Buscar los medios para que los empleados tengan participación de los beneficios que se logren con la mejora de los métodos.
- Crear programas de adiestramiento para que los trabajadores tengan la posibilidad de ocupar mejores puestos, que vayan de acuerdo con el avance de la tecnología implantada en la empresa y que les produzcan mayores percepciones.

#### GERENCIA

La gerencia suele presentar oposición al Estudio de Métodos debido a las siguientes causas:

- El pensar que se les critica cuando se sugieren cambios.
- Pensar que actualmente como trabajan les va muy bien, es decir, no se arriesgan a cambiar o a correr algún riesgo.

Esto se debe atacar de la siguiente manera:

- Explicarles el porqué y el cómo del Estudio de Métodos, de esta forma entenderán y apoyarán los programas.
- Hacerles ver que si en la actualidad obtienen buenas ganancias, en un futuro, de permanecer así, quedarán rezagados con relación a los competidores.
- Presentarles hechos, en el aspecto de ahorros logrados en otras partes, gracias a la aplicación del Estudio de Métodos.



## ANALISTA

El estudio de las actividades y características personales de los analistas permitirá resolver los problemas presentados por trabajadores y la gerencia.

El analista es la persona más consciente de los beneficios de la simplificación del trabajo, no va a oponerse a ella; sin embargo, sus actitudes originadas por su personalidad pueden presentar ciertos obstáculos.

Las recomendaciones que se le hacen a un analista son las siguientes:

- Reconocer sus fallas
- No actuar como superior
- Usar los canales adecuados de comunicación, es decir, saber con quien hablar primero. No dar órdenes directamente a los trabajadores, sino a través de sus jefes inmediatos.
- Saber en que momentos conviene usar su conocimiento técnico para mantener su prestigio personal.
- Saber cuando hay que poner más atención a las relaciones personales.
- Ser cortés en el trato con los demás.
- Ser honesto en todos los asuntos que maneje.
- Programar los cambios cuidadosamente. Los cambios deberán hacerse lenta y gradualmente.
- Ser pacientes con los trabajadores. Tampoco hay que esperar que los operadores se adapten inmediatamente al nuevo método. Muchas veces es simplemente inseguridad natural por tener que hacer su trabajo de una manera diferente.
- Deberá saber escuchar con atención.
- Pedir sugerencias a los trabajadores; ellos conocen mejor el trabajo ya que están en contacto con él todo el tiempo.
- Ponerse en la posición del trabajador, a fin de tratar de anticipar sus reacciones y saber como manejarlas.
- Eliminar la palabra "yo" y sustituirla por "nosotros"; esto enfatiza el hecho de que ninguno es inferior y de que todos pueden y deben colaborar.
- Deberá dar atención especial a aquellos trabajadores que hayan tenido experiencias desagradables relacionadas con el estudio de métodos o estudios de tiempos.
- Informarse sobre el trabajo de las gentes y procurar que no se sientan mal cuando su progreso sea lento, es decir, dar palabras de estímulo.

Para finalizar, otras características del buen analista son:

- Entusiasmo
- Buena presentación
- Confianza en sí mismo, basada en su educación y experiencia práctica
- Dar crédito a quien lo merece
- Hablar por adelantado acerca de los futuros cambios
- Reconocer el hecho de que todo trabajo es importante, y en consecuencia la persona que lo realiza.

Como se puede observar, todo ésto es en sí una forma de atacar los problemas presentados por los trabajadores; no es otra cosa que la forma en que debe actuar cualquier persona que ha de trabajar constantemente con subordinados.

# CAPITULO VI

## MEDICION DEL TRABAJO

## **VI. MEDICION DEL TRABAJO**

### **VI.1 Definición de Medición del Trabajo**

Como ya se mencionó anteriormente el Estudio del Trabajo consta de dos técnicas: el Estudio de Métodos y la Medición del Trabajo.

La Medición del Trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida.

Las principales técnicas que se emplean en la Medición del Trabajo son las siguientes:

- Muestreo del trabajo
- Estudio de tiempos con cronómetro
- Sistemas de normas de tiempos predeterminados
- Datos tipo

En las próximas secciones de este capítulo describiremos más detalladamente cada una de estas técnicas.

### **VI.2 Objetivos de la Medición del Trabajo**

El estudio de métodos es una de las principales técnicas para reducir el trabajo que lleva el producto o el proceso mediante la investigación sistemática y el examen crítico de los métodos y procesos existentes y el hallazgo e implantación de métodos mejores.

El estudio de métodos es la técnica principal para reducir la cantidad de trabajo, principalmente al eliminar movimientos innecesarios del material o de los operarios y substituir métodos malos por buenos. La medición del trabajo, a su vez, sirve para investigar, reducir y finalmente eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se ejecuta trabajo productivo, por cualquier causa que sea.

# MEDICION DEL TRABAJO

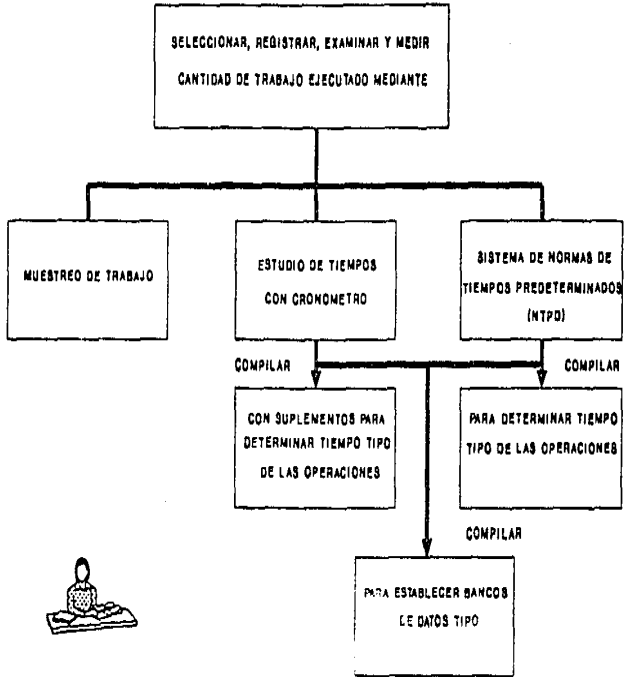


FIGURA VI.1

La medición del trabajo es el medio por el cual la dirección puede medir el tiempo que se invierte en ejecutar una operación o una serie de operaciones de tal forma que el tiempo improductivo se destaque y sea posible separarlo del tiempo productivo. Así se descubren su existencia, naturaleza e importancia, que antes estaban ocultas dentro del tiempo total. Así, una vez conocida la existencia del tiempo improductivo y averiguadas sus causas se pueden tomar medidas para reducirlo. La medición del trabajo tiene ahí otra función más: además de revelar la existencia del tiempo improductivo, también sirve para fijar tiempos tipo de ejecución del trabajo, y si más adelante surgen tiempos improductivos, se notarán inmediatamente porque la operación tardará más que el tiempo tipo, y la dirección pronto se enterará.

El propósito de la medición del trabajo es revelar la naturaleza e importancia del tiempo improductivo, sea cual fuere su causa, a fin de eliminarlo, y fijar unas normas de rendimiento que sólo se cumplirán si se elimina todo el tiempo improductivo evitable y si el trabajo se ejecuta con el mejor método posible y personal idóneo por sus aptitudes y formación.

### VI.3 Usos de la Medición del Trabajo

La Medición del Trabajo tiene su uso más eficaz cuando se han fijado tiempos tipo acertados puesto que éstos se mantendrán mientras continúe el trabajo a que se refieren y deberán hacer notar todo tiempo improductivo o trabajo adicional que aparezca después de fijados tales tiempos tipo.

En el proceso de fijación de tiempos tipo es necesario emplear la medición del trabajo para:

- 1) Comparar la eficacia de varios métodos en igualdad de condiciones, el mejor será el que lleve menos tiempo.
- 2) Repartir el trabajo dentro de los equipos, con ayuda de diagramas de actividades múltiples, para que, en lo posible, le toque a cada cual una tarea que lleve el mismo tiempo.
- 3) Determinar, mediante diagramas de actividades múltiples para operario y máquina, el número de máquinas que puede atender un operario.

Una vez fijados los tiempos tipo pueden ser utilizados para:

- 4) Obtener información en que basar el programa de producción, incluidos datos sobre el equipo y la mano de obra que se necesitarán para cumplir el plan de trabajo y aprovechar la capacidad de producción.
- 5) Obtener información en que basar presupuestos de ofertas, precios de venta y plazos de entrega.
- 6) Fijar normas sobre uso de la maquinaria y desempeño de la mano de obra que puedan ser utilizadas con cualquiera de los fines que anteceden y como base de sistemas de incentivos.
- 7) Obtener información que permita controlar los costos de mano de obra y fijar y mantener costos estándar.

La medición del trabajo proporciona la información básica necesaria para llegar a organizar y controlar las actividades de la empresa en que interviene el factor tiempo.

#### VI.4 Procedimiento Básico de la Medición del Trabajo

Las etapas necesarias para efectuar sistemáticamente la medición del trabajo son:

- |             |  |
|-------------|--|
| SELECCIONAR | el trabajo que va a ser objeto de estudio.   |
| REGISTRAR   | todos los datos relativos a las circunstancias en que se realiza el trabajo, a los métodos y a los elementos de actividad que suponen.   |
| EXAMINAR    | los datos registrados y el detalle de los elementos con espíritu crítico para verificar si se utilizan los métodos y movimientos más eficaces y separar los elementos improductivos o extraños de los productivos. |
| MEDIR       | la cantidad de trabajo de cada elemento, expresándola en tiempo, mediante la técnica más apropiada de medición del trabajo.  |
| COMPILAR    | el tiempo tipo de la operación previendo, en caso de estudio de tiempos con cronómetro, suplementos para breves descansos, necesidades personales, etc.  |
| DEFINIR     | con precisión la serie de actividades y el método de operación a los que corresponde el tiempo computado y notificar que ese será el tiempo tipo para las actividades y métodos especificados.                     |

Estas etapas sólo tendrán que seguirse en su totalidad cuando se desee fijar tiempos tipo.

## VI.5 Técnicas de Medición del Trabajo

Estas técnicas fueron citadas en la primera sección de este capítulo, procederemos a describir cada una.

### VI.5.1 Muestreo del Trabajo

El muestreo del trabajo es una técnica para determinar, mediante muestreo estadístico y observaciones aleatorias, el porcentaje de aparición de determinada actividad.

La base de la técnica de muestreo del trabajo se basa en hacer una serie de recorridos del taller a intervalos aleatorios observando las máquinas que funcionan, las que están paradas y la causa de cada inmovilización. Si el tamaño de la muestra es suficientemente grande y las observaciones se efectúan realmente al azar, existe una buena probabilidad de que dichas observaciones reflejen la situación real, con una margen determinado de error por exceso o por defecto.

A diferencia del costoso y poco práctico método de observación continua, el muestreo del trabajo se basa principalmente en la ley de probabilidades. La probabilidad se ha definido como "el grado de posibilidad de que se produzca un acontecimiento". Es decir, cuanto mayor sea la muestra, más exactamente representará la población, o sea, el grupo de factores que se están estudiando.

### VI.5.2 Estudio de Tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.



Una vez elegido el trabajo que se va a analizar, el estudio de tiempos consta de ocho etapas:

- 1) Obtener y registrar toda la información posible acerca de la tarea, del operario y de las condiciones que pueden influir en la ejecución del trabajo.
- 2) Registrar una descripción completa del método descomponiendo la operación en "elementos".
- 3) Examinar ese desglose para verificar si se están utilizando los mejores métodos y movimientos, y determinar el tamaño de la muestra.
- 4) Medir el tiempo con un instrumento apropiado, generalmente un cronómetro, y registrar el tiempo invertido por el operario en llevar a cabo cada "elemento" de la operación.
- 5) Determinar simultáneamente la velocidad de trabajo efectiva del operario por correlación con la idea que tenga el analista de lo que debe ser el ritmo tipo.
- 6) Convertir los tiempos observados en "tiempos básicos".
- 7) Determinar los suplementos que se añadirán al tiempo básico de la operación.
- 8) Determinar el "tiempo tipo" propio de la operación.

Se requiere de cierto material para efectuar estudios de tiempo:

- Cronómetro
- Tablero de observaciones
- Formularios de estudios de tiempos

Además de calculadora, reloj exacto con segundero e instrumentos para medir como: cinta métrica, regla, micrómetro, balanza de resortes, tacómetro (contador de revoluciones), etc.

### CRONOMETRO

Sin lugar a dudas, el cronómetro es el instrumento de medición más utilizado; se usan generalmente dos tipos de cronómetros para el estudio de tiempos: el cronómetro ordinario y el cronómetro con vuelta a cero. A veces se emplea el cronómetro de registro fraccional de segundos y otra unidad de tiempo.

Estos cronómetros pueden tener una de las tres esferas graduadas siguientes:

- 1.- Para registrar un minuto por vuelta, a intervalos de  $1/5$  de segundo, con una manecilla que puede contar hasta 30 minutos.
- 2.- Para registrar un minuto por vuelta, con esfera graduada en  $1/100$  de minuto y una manecilla que puede registrar 30 minutos (cronómetro de minuto decimal).
- 3.- Para registrar  $1/100$  de hora por vuelta, con esfera graduada en  $1/10\ 000$  de hora; una manecilla registra hasta una hora en 100 espacios (cronómetro de hora decimal).

También hay cronómetros con esfera de minuto decimal y una esfera auxiliar independiente, generalmente en rojo, graduada en segundos y quintos de segundo.

El cronómetro de minuto decimal y vuelta a cero es probablemente el tipo más empleado hoy día; la manecilla de la esfera pequeña da  $1/30$  de vuelta por cada vuelta de la manecilla grande y, por tanto, da la vuelta entera en 30 minutos.

Sea cual sea el modelo elegido, siempre hay que recordar que un reloj es un instrumento delicado, que debe manipularse con cuidado. Prácticamente se debe mandar verificar y limpiar.

En la actualidad ya se cuentan con cronómetros digitales que facilitan la medición.

#### TABLETO DE OBSERVACIONES

Es sencillamente un tablero liso, generalmente de madera contrachapada o de un material plástico apropiado, donde se fijan los formularios para anotar las observaciones. Deberá ser rígido y de un tamaño mayor que el más grande de los formularios que se utilicen. Puede tener un dispositivo para sujetar el cronómetro, de modo que el especialista quede con las manos relativamente libres y vea fácilmente el cronómetro. También se debe fijar al tablero una pinza para papeles que sostenga los formularios donde se hagan los apuntes.

Los modelos de formularios para el estudio de tiempos varían según las necesidades de la empresa, sin embargo, es más cómodo emplear formularios ya impresos que facilitan el trabajo.

Los principales modelos caen en dos categorías: los que se utilizan mientras se hacen las observaciones y los que sirven después, cuando se han reunido ya los datos.

Los formularios para reunir datos constan en términos generales de:

- Primera hoja
- Hoja(s) siguientes
- Formulario para ciclo breve

Formularios para estudiar los datos reunidos:

- Hoja de trabajo
- Hoja de resumen del estudio
- Hoja de análisis de los estudios
- Suplementos por descanso

Todos estos formatos se ilustran en las figuras VI.2, VI.3, VI.4 y VI.5 con el propósito de identificar las características principales de cada uno y poder diferenciarlos e identificarlos.

Otro aspecto fundamental dentro del estudio de tiempos que bien cabe aclarar es que de ningún modo se intentará cronometrar al operario desde una posición oculta, sin su conocimiento o llevando el cronómetro al bolsillo. El estudio del trabajo no debe tener nada que ocultar.

### VI.5.3 Sistema de Normas de Tiempos Predeterminados

El sistema de normas de tiempos predeterminados es una técnica de medición del trabajo en que se utilizan tiempos determinados para los movimientos humanos básicos (clasificados según su naturaleza y las condiciones en que se hacen) a fin de establecer el tiempo requerido por una tarea efectuada según una norma dada de ejecución.

Los sistemas de normas de tiempos predeterminados son técnicas para sintetizar los tiempos de una operación a partir de los tiempos de los movimientos básicos.

La naturaleza de las referidas técnicas (denominadas en









lo sucesivo "sistemas NTPD") puede ilustrarse fácilmente recurriendo a un ciclo de trabajo sencillo como, por ejemplo, poner una arandela en un tornillo. El operario estira el brazo hasta la arandela, la agarra, la traslada hasta el tornillo, la coloca en el tornillo y la suelta.

En términos generales, muchas operaciones constan de todos o algunos de estos cinco movimientos básicos, a los cuales se suman otros movimientos del cuerpo y otros elementos. A continuación se ilustra un sistema NTPD básico:

Movimiento	Descripción
ESTIRAR EL BRAZO	Mover la mano hasta el punto de destino
AGARRAR (O ASIR)	Obtener el dominio del objeto con los dedos
TRASLADAR	Cambiar el objeto de lugar
COLOCAR	Alinear objetos y ajustar unos en otros
SOLTAR	No sujetar más el objeto
MOVIMIENTOS DEL CUERPO	Movimientos de las piernas y del tronco

El tiempo tipo de una operación completa puede establecerse examinando la operación, identificando los movimientos básicos que la componen y consultando las tablas NTPD que indican los tiempos tipo para cada categoría de movimiento efectuado en determinadas circunstancias.

Los sistemas NTPD tienen algunas ventajas que no posee el estudio de tiempos con cronómetro, pues atribuyen a cada movimiento un tiempo dado, independientemente del lugar donde se efectúe el movimiento, mientras que en el estudio de tiempos con cronómetro lo que se evalúa no es un movimiento, sino más bien una secuencia de movimientos, que juntos componen una operación. La fijación de tiempos por observación y valoración directas puede llevar a resultados contradictorios. Por eso, los sistemas NTPD, que prescinden de la observación y valoración directas, permiten establecer tiempos tipo más coherentes.

Dado que los tiempos de las diversas operaciones pueden hallarse en tablas de tiempo tipo, el que corresponde a una



operación dada puede establecerse incluso antes de que se inicie la producción y a menudo cuando el proceso todavía se encuentra en su fase de concepción. Es una de las mayores ventajas de los sistemas NTPD que permiten al especialista en estudio del trabajo modificar la disposición y el diseño del lugar de trabajo. También permiten calcular, incluso antes de iniciar la operación, el costo probable de producción. Estos sistemas no son demasiado difíciles de aplicar y, en comparación con otros métodos, pueden ahorrar horas de trabajo. Son también particularmente útiles para los ciclos repetitivos de tiempos muy breves.

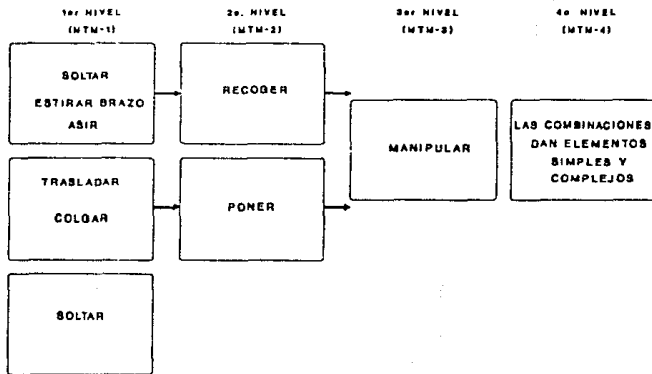
Algunos inconvenientes de estos sistemas NTPD es la gran multiplicidad y variedad de sistemas que se han ideado así como los diferentes grados de complicación que pueden presentar éstos.

La figura VI.6 ilustra los niveles de aplicación de los datos mediante los sistemas internacionales oficiales: MTM-1, MTM-2 y MTM-3. El primer nivel comprende los movimientos SOLTAR, ESTIRAR BRAZO, ASIR, TRASLADAR, COLOCAR Y SOLTAR. En el segundo nivel estos movimientos están combinados: en el MTM-2, por ejemplo, los movimientos son RECOGER Y PONER. En el tercer nivel los movimientos se han combinado aún más en MANIPULAR, para dar una descripción del ciclo completo de trabajo. A partir del tercer nivel todavía no existen reglas totalmente definidas, y los métodos de clasificación varían según el sector de actividad a que se destinan los datos; esto se desglosa en las tablas de la figura VI.7

#### VI.5.4 Datos Tipo

Existen elementos que aparecen repetidamente en el lugar de trabajo para lo cual se establece un banco de datos tipo. Por ejemplo: el elemento "andar" o "caminar" forma parte de numerosas tareas. Actividades distintas como pintar, manipular o trabajar en una obra de construcción comprende invariablemente el elemento "andar". Al establecer los tiempos de dichas actividades, de hecho, el mismo elemento común se cronometra muchas veces. Por consiguiente, la labor del especialista en estudio del trabajo sería mucho más fácil si dispusiera de un conjunto de datos que le permitiera determinar rápida y fácilmente los tiempos tipo de tales elementos, sin tener necesariamente que cronometrarlos uno por uno. Si se pudiera hallar en una tabla el tiempo tipo para el elemento específico "andar", no sólo se ahorraría dinero y energías, sino que también se obtendría mayor coherencia en las estimaciones de los tiempos.

NIVELES DE LOS DATOS EN EL SISTEMA MTM  
MOVIMIENTOS BASICOS



**DATOS DE APLICACION DEL SISTEMA MTM  
(PESOS Y MEDIDAS EN UNIDADES METRICAS DECIMALES)**

Figura VI.7  
(De la Tabla I a la X)

**TABLA I. ESTIRAR EL BRAZO - R (REACH)**

Distancia (cm)	Tiempo (tmu)				Mano en movimiento		Clase 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 Estirar el brazo hacia un objeto en posición fija, o situado en la otra mano, o utilizado como punto de apoyo de 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	7,3	5,2	4,8	B Estirar el brazo hacia un objeto aislado cuya ubicación puede variar ligeramente de un ciclo a otro
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 Estirar el brazo hacia un objeto entrecruzado con otros, siendo necesario 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 Estirar el brazo hacia un objeto muy pequeño o que es necesario asir con 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 Estirar el brazo hacia un lugar indeterminado de modo que la mano esté en posición para dar equilibrio al cuerpo, para realizar el movimiento siguiente, o para no estorbar
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	

TABLA II. MOVER - M (MOVE)

Distancia (cm)	Tiempo (min)				Suplemento por peso			Clase y descripción
	A	B	C	Mazo en movimiento B	Peso (kg) hasta	Constante (unidades)	Factor de ajuste	
2 o menos	2,0	2,0	2,0	1,7	1	0	1,00	A Mover el objeto contra un tope o a la otra mano
4	3,1	4,0	4,5	2,8	2	1,6	1,04	
6	4,1	5,0	5,8	3,1				
8	5,1	5,9	6,9	3,7	4	2,8	1,07	
10	6,0	6,8	7,9	4,3				
12	6,9	7,7	8,8	4,9	6	4,3	1,12	
14	7,7	8,5	9,8	5,4				
16	8,3	9,2	10,5	6,0				
18	9,0	9,8	11,1	6,5	8	5,8	1,17	B Mover el objeto hasta un lugar aproximado o indeterminado
20	9,6	10,5	11,7	7,1				
22	10,2	11,2	12,4	7,6	10	7,3	1,22	
24	10,8	11,8	13,0	8,2				
26	11,5	12,3	13,7	8,7	12	8,8	1,27	
28	12,1	12,8	14,4	9,3				
30	12,7	13,3	15,1	9,8	14	10,4	1,32	
35	14,3	14,5	16,8	11,2				
40	15,8	15,6	18,5	12,6				
45	17,4	16,8	20,1	14,0	16	11,9	1,36	C Mover el objeto hasta un lugar exacto
50	19,0	18,0	21,8	15,4				
55	20,5	19,2	23,5	16,8	18	13,4	1,41	
60	22,1	20,4	25,2	18,2				
65	23,6	21,6	26,9	19,5	20	14,9	1,46	
70	25,2	22,8	28,6	20,9				
75	26,7	24,0	30,3	22,3	22	16,4	1,51	
80	28,3	25,2	32,0	23,7				

TABLA IIIA. GIRAR - T (TURN)

Peso	Tiempo (min) por grado de giro										
	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
Pequeño: de 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
Medio: de 1 a 5 kg	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6	12,7	13,7	14,8
Grande: de 5,1 a 16 kg	8,4	10,5	12,3	14,4	16,2	18,3	20,4	22,2	24,3	26,1	28,2

**TABLA III B. APLICAR PRESION - AP (APPLY PRESSURE)<sup>1</sup>**

Ciclo completo			Componentes		
Símbolo	Time	Descripción	Símbolo	Time	Descripción
APA	10,6	AF + DM + RLF	AF	3,4	Aplicar fuerza
APB	16,2	APA + G2	DM	4,2	Permanecer tiempo mínimo
			RLF	3,0	Añajar fuerza

<sup>1</sup> Los símbolos de esta cuadro corresponden a los siguientes vocablos ingleses: APPLY FORCE, DWELL MINIMUM, RELEASE FORCE.

**TABLA IV. ASIR - G (GRASP)**

Clase	Tiempo (time)	Descripción
1A	2,0	Asir, para recogerlos, objetos pequeños, medianos o grandes, aislados y fáciles de apresar
1B	3,5	Asir objetos muy pequeños o estrechamente yuxtapuestos con una superficie plana horizontal
1C1	7,3	Asir, superando estorbos, objetos casi cilíndricos por la parte inferior y un costado. Diámetro mayor de 12 mm
1C2	8,7	Asir, superando estorbos, objetos casi cilíndricos por la parte inferior y un costado. Diámetro de 6 a 12 mm
1C3	10,8	Asir, superando estorbos, objetos casi cilíndricos por la parte inferior y un costado. Diámetro menor de 6 mm
2	5,6	Reasir
3	5,6	Asir con traslado
4A	7,3	Asir objetos entrecruzados con otros, siendo preciso buscar y seleccionar. Dimensiones mayores de 25 x 25 x 25 mm
4B	9,1	Asir objetos entrecruzados con otros, siendo preciso buscar y seleccionar. Dimensiones entre 6 x 6 x 3 y 25 x 25 x 25 mm
4C	12,9	Asir objetos entrecruzados con otros, siendo preciso buscar y seleccionar. Dimensiones menores de 6 x 6 x 3 mm
5	0	Asir por contacto, deslizamiento o enganche

TABLA V. POSICIONAR\* - P (POSITION)<sup>1</sup>

Clase de ajuste		Simetría	Fácil de manipular	Difícil de manipular
1 Fijo	Sin necesidad de ejercer presión	S	5,6	11,2
		SS	9,1	14,7
		NS	10,4	16,0
2 Apretado	Necesidad de ejercer una presión ligera	S	16,2	21,8
		SS	19,7	25,3
		NS	21,0	26,6
3 Exacto	Necesidad de ejercer una presión fuerte	S	43,0	48,6
		SS	46,5	52,1
		NS	47,8	53,4

\* Distancia recorrida para enfocar el objeto: 25 mm máximo.

<sup>1</sup> S = simétrico (la pieza manipulada puede ocupar cualquier posición alrededor del eje).

SS = semisimétrico (la pieza solo puede ocupar una posición denominada S uno y otro lado del eje).

NS = no simétrico (la pieza tiene que estar en la única posición prevista con relación al eje).

TABLA VII.  
DESMONTAR - D (DISENGAGE)

Clase de ajuste	Fácil de manipular	Difícil de manipular
1 Fijo: esfuerzo muy pequeño; movimiento empalmado con el siguiente	4,0	5,7
2 Apretado: esfuerzo normal con ligero rebote	7,5	11,8
3 Exacto: esfuerzo considerable, con marcado retroceso de la mano	22,9	34,7

TABLA VI.  
SOLTAR - RL (RELEASE)

Caso	Tiempo (tmu)	Descripción
1	2,0	Soltar normalmente, abriendo los dedos como movimiento independiente
2	0	Dejar cesar el contacto

TABLA VIII. RECORRIDO DE LOS OJOS Y ENFOQUE VISUAL - ET Y EF (EYE TRAVEL AND EYE FOCUS)

Tiempo del recorrido =  $15,2 \times \frac{T}{D}$  tmu, con un valor máximo de 20 tmu,

siendo T = distancia entre los puntos extremos de la trayectoria visual;

D = distancia del ojo a la trayectoria T, medida perpendicularmente.

Tiempo para enfocar = 7,3 tmu.

**TABLA IX. MOVIMIENTOS DEL CUERPO, PIERNA Y PIE<sup>1</sup>**

Descripción	Símbolo	Distancia	Tiempo (ms)
<b>Movimiento del pie:</b>			
Giro alrededor del tobillo	FM	Hasta 10 cm	8,3
Con presión fuerte	FMP		19,1
<b>Movimiento de la pierna o del muslo</b>	LM	Hasta 15 cm Por cada cm adicional	7,1 0,3
<b>Paso lateral:</b>			
Caso 1. Termina cuando la pierna adelantada entra en contacto con el suelo	SS-C1	Menos de 30 cm	Se emplearán los tiempos de ESTIRAR MIEMBRO y MOVER 17,0
		30 cm Por cada cm adicional	0,2
Caso 2. La pierna levantada en segundo lugar ha de tocar el suelo antes de que pueda realizarse el siguiente movimiento	SS-C2	Hasta 30 cm Por cada cm adicional	34,1 0,4
<b>Inclinarse, agacharse o arrodillarse sobre una rodilla</b>	B.S.KOK		29,0
Levantarse	AB.AS.AKOK		31,9
<b>Arrodillarse sobre ambas rodillas</b>	KBK		69,4
Levantarse	AKBK		76,7
<b>Sentarse</b>	SIT		34,7
Levantarse de un asiento	STD		43,4
<b>Girar el cuerpo de 45 a 90°:</b>			
Caso 1. Termina cuando la pierna adelantada entra en contacto con el suelo	TBC1		18,6
Caso 2. La pierna levantada en segundo lugar ha de tocar el suelo antes de que pueda realizarse el siguiente movimiento	TBC2		37,2
<b>Andar</b>	W-M	Por metro	17,4
Andar	W-P	Por paso	15,0
Andar con obstáculos	W-PO	Por paso	17,0

<sup>1</sup> Los símbolos de esta tabla corresponden a los siguientes vocablos legítimos, en el orden en que aparecen: FOOT MOTION; FOOT MOTION with PRESSURE; LEG MOTION; SIDE STEP - CASES 1 and 2; BEND; STOOD; or KNEEL on ONE KNEE; or ONE KNEE; ARISE and BEND; ARISE and STOOD; ARISE from KNEELING on ONE KNEE; KNEEL on BOTH KNEES; ARISE from KNEELING on BOTH KNEES; SIT; STAND from sitting position; TURN BODY - CASES 1 and 2; WALK METRE; WALK-PACE; WALK-PACE-OBSTRUCTED.

TABLA X. MOVIMIENTOS SIMULTANEOS

ESTIRAR BRAZO	MOVER				ASIR				POSICIONAR				DESMONTAR		CASO	MOVIMIENTO
	A, E	B	C, D	A Bm	B	C	G1A G1G3	G1B G1C	G4	P1S	P1SS P2S	P1NS P2NS	D1E D1D	D2		
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
	W	O	W	O	W	O	W	O	W	O	E	D	E	D		
					X	X			X	X	X	X	X			A, E
		X			X	X			X	X	X	X	X		X	B
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		C, D
											X	X	X			A, Bm
								X	X	X	X	X	X		X	B
					X	X	X	X	X	X	X	X	X			C
																G1A, G2, G3
								X	X	X	X	X	X			G1B, G1C
									X	X	X	X	X			G4
										X	X	X	X			P1S
											X	X	X			P1SS, P2S
												X	X			P1NS, P2NS
												X	X	X		D1E, D1D
												X	X			D2

= FACILES de ejecutar simultáneamente.  
 = Pueden realizarse simultáneamente con PRACTICA.  
 = DIFICILES de realizar simultáneamente, incluso con mucha práctica. Se conceden ambos tiempos.

**MOVIMIENTOS NO INCLUIDOS EN LA TABLA:**  
**GIRAR:** Normalmente FACIL con todos los movimientos, salvo cuando se debe controlar el giro o combinalos con DESMONTAR.  
**APLICAR PRESION** } Puede ser FACIL, realizable con PRACTICA o DIFICIL.  
**HACER GIRAR** } Cada caso debe analizarse.  
**POSICIONAR:** Clase J: Siempre DIFICIL.  
**DESMONTAR:** Clase J: Normalmente DIFICIL.  
**SOLTAR:** Siempre FACIL.  
**DESMONTAR:** Todas las clases pueden ser DIFICILES si hay que tener cuidado para que el objeto no caiga abajo.

\* W (Within) = Dentro } del campo de visión normal, v. g.: r = 10 cm, d = 40 cm.  
 O (Outside) = Fuera }

\*\* E (Easy) = FACIL de manipular.  
 D (Difficult) = DIFICIL de manipular.



Si existieran datos fiables para una amplia gama de elementos no sería necesario efectuar un estudio de tiempos para cada tarea; simplemente descomponiendo la tarea en elementos y buscando en el banco de datos los tiempos normales de cada elemento, podría calcularse el tiempo total necesario para ejecutar dicha tarea, y se determinaría su tiempo tipo sumando los correspondientes suplementos de tiempo.

La fiabilidad de los datos puede aumentarse si antes del análisis se agrupan el mayor número posible de elementos comunes y ejecutados del mismo modo.

Los datos tipo deben elaborarse teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios.

Para establecer datos tipo se deben seguir las siguientes etapas:

- 1.- Determinar el alcance o cobertura de los datos tipo.
- 2.- Descomponer las tareas en elementos. Tratar de identificar el mayor número posible de elementos comunes en las diversas tareas.
- 3.- Decidir el método de medición de tiempo.
- 4.- Determinar los factores que pueden influir en el tiempo de cada elemento y clasificarlos en factores primordiales y secundarios.

#### VI.6 Tiempo Estándar

El tiempo estándar para una operación dada es el tiempo requerido para que un operario de tipo medio, plenamente calificado y adiestrado, y trabajando a un ritmo normal, lleve a cabo la operación. Se determina sumando el tiempo asignado a todos los elementos comprendidos en el estudio de tiempos.

Los tiempos elementales permitidos o asignados se evalúan multiplicando el tiempo elemental medio transcurrido, por un factor de conversión. Por tanto se tiene la expresión:

$$T_a = (M_t) (C)$$

donde:

- $T_a$  = Tiempo elemental asignado  
 $M_t$  = Tiempo elemental medio transcurrido  
 $C$  = Factor de conversión que se obtiene multiplicando el factor de calificación de actuación por la suma de la unidad y la tolerancia o margen aplicable.

La suma de los tiempos elementales dará el estándar en minutos por pieza o en horas por pieza, dependiendo de si se emplea un cronómetro decimal de minutos o uno decimal de hora. La mayor parte de las operaciones industriales tienen ciclos relativamente cortos (de menos de cinco minutos); en consecuencia, por lo general es más conveniente expresar los estándares en función de horas por centenar de piezas. Por ejemplo: el estándar en una operación de prensado puede ser de 0.085 horas por cien piezas. Esta es una forma de expresión del estándar más satisfactoria que decir 0.00085 horas por pieza, o bien, 0.051 minutos por pieza. De manera que si un operario fabricó 10 000 piezas en un día de trabajo habría ganado 8.5 horas de producción, y laborado con una eficiencia de 106%. Esto se expresa:

$$E = \frac{H_e}{H_c} \times 100$$

donde:

- $E$  = Eficiencia en %  
 $H_e$  = Horas de estándar ganadas  
 $H_c$  = Horas de cronómetro empleadas en el trabajo

En otro ejemplo, el tiempo estándar puede haber resultado de 11.46 minutos por pieza. Esto se convertirá en horas decimales por cien piezas como sigue:

$$S_h = 1.667 S_m$$

donde:

- $S_h$  = Estándar expresado en horas por cien (h.p.c.) piezas  
 $S_m$  = Estándar expresado en minutos por pieza  
1.667 = Constante obtenida al convertir minutos a horas decimales y multiplicar por 100

Por lo tanto:

$$S_h = (1.667)(11.46) = 19.104 \text{ h.p.c.}$$

Si un operario produjo 53 piezas en un día de trabajo, las horas de estándar producidas serían:

$$H_e = (0.01)(P_a)(S_h)$$

donde:

- $H_e$  = Horas de estándar ganadas
- $P_a$  = Producción real en piezas
- $S_h$  = Estándar expresado en horas por cien (h.p.c.)

En este ejemplo:

$$H_e = (0.53)(19.104) = 10.125 \text{ horas}$$

Una vez calculado el tiempo asignado, se expide el estándar al operario en forma de una tarjeta de operación. Servirá como base para establecer o determinar rutas, programas, instrucción, nóminas, actuación del operario, costos, presupuestos y otros controles para la operación eficaz del negocio.

Se requiere tiempo para llegar a alcanzar destreza cabal en una operación que sea nueva o algo diferente, para lo cual existen estándares temporales.

Los estándares temporales se establecen considerando la dificultad de la asignación de trabajo y el volumen a producir. Luego de emplear una curva de aprendizaje para el tipo de trabajo que se estudia y los datos estándares existentes, se podrá hallar un estándar equitativo para el trabajo considerado. El estándar resultante será considerablemente más liberal que si el trabajo se realizara sobre la base de producción en masa. Hay que indicar que se trata de un estándar temporal, así como la cantidad máxima de producción a la que se aplica, a fin de indicar claramente a todas las secciones interesadas que la tasa es temporal, y que estará sujeta a un nuevo estudio en el caso de pedidos adicionales o un incremento en el volumen del pedido presente.

Los estándares temporales tienen vigencia por 60 días, o por la duración del contrato, adoptando el período que sea más corto. A su expiración deben ser remplazados por estándares permanentes.

Los elementos de trabajo que se incluyen generalmente en los estándares de preparación comprenden todos los sucesos que ocurren desde el momento en que se termina el trabajo anterior hasta el comienzo del trabajo en la primera pieza del nuevo. También se acostumbra incluir en el estándar de preparación los elementos "preliminares" y de "retiro", que comprenden todos los elementos de trabajo que intervienen desde la terminación de la última pieza hasta la preparación del siguiente trabajo. Los elementos típicos en el estándar de preparación son:

1. Marcar (o registrar) la iniciación del trabajo.
2. Sacar la herramienta del almacén.
3. Recoger planos y dibujos con el despachador.
4. Preparar la máquina.
5. Marcar la terminación del trabajo.
6. Desmontar el herramental de la máquina.
7. Entregar las herramientas al almacén.

Al establecer los tiempos de preparación el analista emplea un procedimiento idéntico al seguido al establecer estándares para producción. En primer lugar debe cerciorarse de que se utilizan los mejores métodos de preparación y que se ha adoptado un procedimiento estandarizado. Luego se divide cuidadosamente el trabajo en elementos, se fija su tiempo con exactitud, se califica la actuación y se le asignan los márgenes o tolerancias apropiados. La importancia de los tiempos de preparación adecuados no se puede exagerar, especialmente en el caso de trabajos en taller, donde el tiempo de preparación es una proporción alta del tiempo global.

El analista debe estar especialmente alerta al fijar los tiempos para los elementos de preparación, porque no tendrá oportunidad de obtener una serie de valores elementales para determinar los tiempos medios. Tampoco podrá observar con antelación al operario cuando realice los elementos y, en consecuencia, estará obligado a dividir la preparación en elementos mientras se efectúa el estudio. Desde luego los elementos de preparación son en su mayor parte de larga duración, y el analista hallará que dispone de un tiempo razonable para dividir el trabajo, registrar los tiempos y evaluar la actuación a medida que el operario pasa de un elemento de trabajo al siguiente.

Existen dos métodos de manejar los tiempos de preparación: primero pueden ser distribuidos según una cantidad específica de producción, como de 1 000 o de 10 000 piezas. Este método es satisfactorio sólo cuando es estándar la magnitud del pedido a producir. En estos casos, el tiempo de preparación se puede prorratear equitativamente según el tamaño del lote. Este método no sería práctico en absoluto si el tamaño del pedido no se controlase. En una fábrica que trabaje en producción sobre la base de pedidos de trabajo, o sea, de cantidades en órdenes de producción que estén de acuerdo con lo solicitado por el cliente, sería imposible estandarizar el tamaño de las órdenes de trabajo expedidas al taller.

Es más práctico establecer estándares de preparación como tiempos permitidos independientes. Luego, sin que importase la cantidad a producir se tendrían siempre estándares justos. Las preparaciones se estandarizan con más facilidad y los cambios de métodos se introducen más fácilmente cuando la responsabilidad de la preparación no recaer en una sola persona.

Se ha insistido considerablemente en la necesidad de establecer estándares de tiempo que sean justos. Esto es, que sean de estricta equidad para el trabajador y para la empresa. Una vez que se han establecido estándares de esta naturaleza, es igualmente importante que se mantengan.

El tiempo estándar depende directamente del método empleado durante un estudio de tiempos. El método, en el sentido más amplio, se refiere no sólo a las herramientas o equipos que se emplean, sino también a detalles como patrón de movimientos del operario, distribución en la estación de trabajo, condiciones del material y condiciones de trabajo. Puesto que el método controla el estándar de tiempo es esencial, si se han de mantener estándares equitativos, que se controlen los cambios y alteraciones en los métodos. Si no se controlan tales cambios, pronto aparecerán inequidades o injusticias en los estándares establecidos, y se perderá gran parte del trabajo empleado en el desarrollo de estándares de tiempo consistentes.

Es importante que la operación cuyos tiempos se estudian sea analizada en busca de posibles mejoras importantes en los métodos antes del establecimiento del estándar. El análisis de las operaciones, la simplificación del trabajo, el estudio de movimientos y la estandarización del método y las condiciones, preceden

siempre a la medición del trabajo. Un estándar no sale de la línea si el método cuyos tiempos se estudian, lo mantiene el operario. Si el estudio de métodos ha desarrollado el método ideal, y si este método es estandarizado y seguido por el operario, entonces habrá menos necesidad de mantener los estándares de tiempo.

Los estándares de tiempo se deben mantener para asegurar una estructura satisfactoria de las tasas de remuneración. Esto exige el análisis continuo de los métodos. Todos los estándares deben revisarse periódicamente a fin de comprobar si todos los métodos empleados son idénticos a los que estaban en uso en el momento de establecer los estándares.

#### VI.7 Márgenes o Tolerancias de Tiempo

Una vez calculado el tiempo normal o "nominal", hay que dar un paso más para llegar al verdadero estándar. Este último paso consiste en la adición de un margen o tolerancia al tener en cuenta las numerosas interrupciones, retrasos y movimientos lentos producidos por la fatiga inherente a todo trabajo.

Las lecturas de cronómetro de un estudio de tiempos se toman en un tiempo relativamente corto, y las lecturas anormales, demoras inevitables y tiempo para necesidades personales se eliminan del estudio al determinar el tiempo medio o seleccionado. Por consiguiente, en el tiempo normal no se consideran retrasos inevitables u otras pérdidas legítimas de tiempo, por lo que es natural que se deban realizar algunos ajustes para compensar tales pérdidas.

En general, las tolerancias se aplican para cubrir tres amplias áreas, que son las demoras personales, la fatiga y los retrasos inevitables. La aplicación de las tolerancias es considerablemente más extensa en algunos casos que en otros.

Las tolerancias se aplican con frecuencia descuidadamente debido a que no se han establecido según información sólida de estudio de tiempos. Esto es especialmente cierto en el caso de las tolerancias por fatiga, donde es difícil, si no imposible, fijar valores basados en una teoría racional. Un gran número de organismos sindicales, dándose cuenta de esta situación, han tratado de conseguir mayores tolerancias por fatiga como un beneficio

"marginal" (los beneficios marginales son aquéllos que cuestan a la empresa, pero no son proporcionales al rendimiento de los trabajadores, como los seguros y las pensiones). Las tolerancias deben determinarse tan exacta y correctamente como sea posible, ya que de otra manera, todo el cuidado y precisión que se hayan aplicado en el estudio hasta este momento, resultarían totalmente inútiles.

Las tolerancias se aplican a tres categorías del estudio:

- 1) Tolerancias aplicables al tiempo total del ciclo.
- 2) Tolerancias aplicables sólo al tiempo de empleo de la máquina.
- 3) Tolerancias aplicables al tiempo de esfuerzo.

#### VI.7.1 Retrasos Personales

Aquí se consideran todas aquellas interrupciones en el trabajo necesarias para la comodidad o bienestar del empleado. Esto comprende las idas a tomar agua y a los sanitarios. Las condiciones generales en que se trabaja y la clase de trabajo que se desempeña, influirán en el tiempo correspondiente a retrasos personales. Estudios detallados de producción han demostrado un margen o tolerancia de 5% por retrasos personales, o sea, aproximadamente de 24 minutos en ocho horas, es apropiado para las condiciones de trabajo típicas de taller. El tiempo por retrasos personales dependerá naturalmente de la clase de persona y de la clase de trabajo. El 5% antedicho parece ser adecuado para la mayor parte de los trabajadores, hombres y mujeres.

#### VI.7.2 Fatiga

El margen por fatiga se encuentra estrechamente ligada a la tolerancia por retrasos personales, aunque éste se aplica sólo a las partes del estudio relativas a esfuerzo. En las tolerancias por fatiga no se está en condiciones de calificarlas con base en teorías racionales y sólidas, y probablemente nunca se podrá lograr lo anterior. En consecuencia, después de la calificación de la actuación, el margen o tolerancia por fatiga es el menos definible y el más expuesto a controversia, de todos los factores que componen un tiempo estándar. Sin embargo, puede llegarse por medios

empíricos a tolerancias por fatiga lo bastante justas para las diferentes clases de trabajo. La fatiga no es homogénea en ningún aspecto; va desde el cansancio puramente físico hasta la fatiga puramente psicológica, e incluye una combinación de ambas. Tiene marcada influencia en ciertas personas, y aparentemente poco o ningún efecto en otras.

Ya sea que la fatiga sea física o mental, los resultados son similares: existe una aminoración en la voluntad para trabajar. Los factores más importantes que afectan la fatiga son bien conocidos y se han establecido claramente. Algunos de ellos son:

1. Condiciones de trabajo

- a. Luz
- b. Temperatura
- c. Humedad
- d. Frescura del aire
- e. Color del local y de sus alrededores
- f. Ruido

2. Repetitividad del trabajo

- a. Monotonía de movimientos corporales semejantes
- b. Cansancio muscular debido a la distensión de músculos

J. Estado general de salud del trabajador, físico y mental

- a. Estatura
- b. Dieta
- c. Descanso
- d. Estabilidad emotiva
- e. Condiciones domésticas

Es evidente que la fatiga puede reducirse pero nunca eliminarse. En general, el trabajo pesado está desapareciendo de la industria debido al marcado progreso en la mecanización del manejo de materiales y en los elementos de proceso de los mismos. Cuanto más se automatice la industria tanto más se reducirá el cansancio muscular debido al esfuerzo físico.

Debido a que la fatiga no se puede eliminar, hay que fijar tolerancias adecuadas a las condiciones de trabajo y a la repetitividad de éste. Los experimentos han demostrado que la gráfica de la fatiga debe ser una curva y no una recta. La



figura VI.8 ilustra una curva de trabajo típica que muestra las relaciones entre una carga y el tiempo necesario para manejarla.

#### CURVA TIPICA DEL TRABAJO

Figura VI.8



Tal vez el método más utilizado para determinar el margen o tolerancia por fatiga sea el de medir el decrecimiento de la producción durante el período de trabajo. Cualquier disminución en la producción que no pueda atribuirse a los cambios de métodos o de personal, o a retrasos inevitables, podrá ser atribuida a la fatiga y ser expresada como porcentaje. No obstante, se debe reconocer que el factor de fatiga puede recibir la influencia de muchos factores externos, como estado de salud o interferencia exterior. Por tanto, deben realizarse muchos estudios para obtener una muestra razonable antes de decidir la tolerancia final por fatiga en una situación dada. Eugene Brey ha expresado el coeficiente de fatiga como sigue:

$$F = \frac{(T - t) 100}{T}$$

donde:

- F = Coeficiente de fatiga
- T = Tiempo requerido para realizar la operación al final del trabajo
- t = Tiempo necesario para efectuar la operación al principio del trabajo continuo.

Para la mayor parte de las operaciones industriales las tolerancias por fatiga se han dividido arbitrariamente en tres elementos, cada uno de los cuales tiene un campo de influencia en la tolerancia total por fatiga. Dichos elementos son: operaciones que implican trabajo agotador, operaciones en que hay trabajo repetitivo, y operaciones que se realizan en condiciones de trabajo desagradables.

Efectuando estudios de producción bajo control de una muestra de trabajo adecuada, es posible obtener valores de tolerancia por fatiga que resulten equitativos para los diversos grados de cada uno de los factores involucrados. La aparente adecuación de las tolerancias por fatiga determinadas por la medida de la disminución en la productividad a través de estudios de producción de todo el día, se debe al hecho de que el margen o tolerancia por fatiga para un trabajo dado no es un valor crítico, sino que se puede establecer con seguridad dentro de un intervalo bastante amplio.

La Oficina Internacional del Trabajo ha tabulado el efecto de las condiciones laborales para llegar a un factor de tolerancia por retrasos personales y fatiga.

#### VI.7.3 Retrasos inevitables

Esta clase de demoras se aplica a elementos de esfuerzo y comprende conceptos como interrupciones por el capataz, el despachador, el analista de tiempos y de otras personas; irregularidades en los materiales, dificultad en la conservación de tolerancias y especificaciones y demoras por interferencia, en donde se realizan asignaciones en múltiples máquinas. Cuando el material se aparta notablemente de especificaciones estándares, puede ser necesario estudiar de nuevo el trabajo, y establecer márgenes de tiempo para los elementos adicionales introducidos por las irregularidades en el material, a medida que resultan inadecuadas las tolerancias usuales por retrasos inevitables.

#### VI.7.4 Interferencia de Máquinas

Cuando se asigna más de una instalación de trabajo a un operario u operador, hay momentos durante el día de trabajo en que una o más de ellas debe esperar hasta que el operario

termine su trabajo en otra. Cuanto mayor sea el número de equipos o máquinas que se asignen al operario tanto más aumentará el retraso por "interferencia". En la práctica se ha encontrado que la interferencia de las máquinas ocurre predominantemente de 10% a 30% del tiempo de trabajo total, con extremos de 0 a 50%. El grado de interferencia de máquinas es función del número asignado de instalaciones o equipos, la aleatoriedad del tiempo de servicio requerido, la proporción del tiempo de servicio al tiempo de funcionamiento, la magnitud del tiempo de funcionamiento y el valor medio del tiempo de servicio.

Aunque se han elaborado muchas fórmulas, tablas y diagramas para determinar la magnitud de la interferencia de máquinas, la expresión desarrollada por Wright es relativamente sencilla y ha probado ser satisfactoria cuando el número de máquinas asignado es siete o más. Cuando se asignan de dos a seis máquinas, Wright recomienda el uso de gráficas empíricas. Para siete o más máquinas, Wright obtuvo:

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

donde:

- I = Interferencia expresada como porcentaje del tiempo medio de atención
- X = Razón del tiempo medio de funcionamiento de máquina al tiempo medio de atención de la misma
- N = Número de equipos o máquinas asignado a un operador

La magnitud de interferencia que ocurre está relacionada con la actuación del operador. Por tanto, el operario que presenta un bajo nivel de esfuerzo experimentará mayor interferencia de máquinas que aquel otro que con un mayor esfuerzo reduce el tiempo empleado en atender o dar servicio a la máquina parada. El analista procura determinar el tiempo de interferencia normal que, al ser sumado a 1) al tiempo de funcionamiento de la máquina requerido para producir una unidad, y 2) el tiempo normal utilizado por el operario para el servicio de la máquina parada, será igual al tiempo ciclo. Este tiempo del ciclo dividido entre el tiempo de funcionamiento de cada máquina, multiplicado por el número de máquinas asignado al operador dará el tiempo medio de trabajo (en horas) de la máquina por hora. Por tanto, se tiene:

$$O = \frac{NT_1}{C}$$

donde:

O = Tiempo de funcionamiento de máquina (en horas) por hora  
 N = Número de máquinas asignado a un operario  
 T<sub>1</sub> = Tiempo de funcionamiento (en horas) para producir una pieza  
 C = Tiempo del ciclo para producir una pieza

y

$$C = T_1 + T_2 + T_3$$

donde:

T<sub>2</sub> = Tiempo (en horas) empleado por un operario normal para atender o dar servicio a la máquina parada  
 T<sub>3</sub> = Tiempo perdido por un operario normal, trabajando a ritmo también normal, debido a interferencia.

#### VI.7.5 Retrasos Evitables

No se acostumbra proporcionar una tolerancia por retrasos evitables como lo son: visitas a otros operarios por razones sociales, suspensiones del trabajo indebidas, e inactividad distinta del descanso por fatiga normal. Desde luego, estas demoras pueden ser tomadas por el operario a costa de su rendimiento o productividad, pero no se proporciona ninguna tolerancia por estas interrupciones del trabajo en la elaboración del estándar.

#### VI.7.6 Tolerancias Adicionales o Extras

En las operaciones industriales típicas, el margen o tolerancia por retrasos personales inevitables y por fatiga, generalmente es alrededor de 15%. Sin embargo, en ciertos casos puede ser necesario proporcionar una tolerancia adicional para establecer un estándar justo. Por consiguiente, se debe proporcionar una tolerancia adicional para compensar la fatiga adicional causada por la ejecución manual de un trabajo.

El tiempo permitido se debe establecer para el trabajo adicional de una operación dividiéndola en elementos, y luego incluyendo estos tiempos en la operación específica. Si esto no resultara práctico, habría que suministrar una tolerancia extra.

Una forma de tolerancia adicional utilizada con frecuencia, especialmente en la industria del acero, es un porcentaje que se suma a una porción o a todo el tiempo del ciclo, cuando el operario debe observar el proceso para mantener la realización eficiente de la operación. Esta tolerancia suele llamarse tolerancia por "tiempo de atención".

El empleo de una tolerancia extra en operaciones donde gran parte del tiempo del ciclo se basa en el ciclo de proceso o de máquina, es bastante usual en fábricas donde se practica el pago de incentivos. La tolerancia se agrega de modo que el operario pueda obtener ganancias equivalentes a las de aquéllos asignados a operaciones que no van a ritmo de máquina. Una práctica típica es conceder 30% de tolerancia extra en la porción del tiempo del ciclo controlada por máquina. Este margen adicional proporciona el incentivo para que el operario mantenga su máquina o equipo en trabajo productivo durante todo el período laboral.

#### VI.7.7 Limpieza de la Estación de Trabajo y Lubricación de la Máquina

El tiempo necesario para limpiar y lubricar la máquina de un operador se puede clasificar como un retraso inevitable. Sin embargo, este tiempo, cuando es gastado por el operario, se incluye generalmente como una tolerancia de tiempo de ciclo total. El tipo y tamaño del equipo, y el material de la fabricación tendrá considerable efecto en el tiempo requerido para limpiar la estación de trabajo y lubricar el equipo. Cuando estos elementos se incluyen como parte de las responsabilidades del operario, se debe proporcionar una tolerancia aplicable. Se han establecido tablas de tolerancias o márgenes para cubrir esas necesidades.

Con frecuencia los elementos "limpiar la estación de trabajo" y "lubricar la máquina" se manejan dando al operador 10 ó 15 minutos al final del día en el que se realiza este

trabajo. Por supuesto, cuando se realiza lo anterior, los estándares establecidos no incluirán ningún margen por limpieza y lubricación de la máquina.

**Márgenes o Tolerancia por limpieza de Máquinas**

Concepto	Porcentaje por máquina		
	Grande	Mediana	Pequeña
1. Limpiar máquina cuando se use lubricante .....	1	3/4	1/2
2. Limpiar máquina cuando no se use lubricante .....	3/4	1/2	1/4
3. Limpiar y apartar gran cantidad de herramientas o equipos .....	1/2	1/2	1/2
4. Limpiar y apartar una pequeña cantidad de herramientas y equipos .....	1/4	1/4	1/4
5. Parar máquina para limpiarla (este porcentaje es para máquinas equipadas con bandejas o colectores de virutas o rebabas, que se paran a intervalos para permitir al encargado de limpieza retirar las virutas de gran tamaño) .....	1	3/4	1/2

## Clasificación de Máquinas por Tamaño

Máquinas Grandes	Máquinas Medianas
1. Torno revólver ("con chuck" de 20 plg o mayor)	1. Torno revólver ("con chuck" de 10 a 20 plg)
2. Taladradora (de 60 plg o más)	2. Taladradora (de menos de 60 plg)
3. Troqueladora (de 100 tons. o más)	3. Troqueladora (de 40 a 100 tons.)
4. Cepilladora (de más de 48 plg)	

## Márgenes o Tolerancias por Lubricación de Máquinas

Concepto	Porcentaje por máquina		
	Grande	Mediana	Pequeña
1. Máquina aceitada o engrasada a mano .....	1 1/2	1	1/2
2. Máquina aceitada automáticamente.....	1/2	1/2	1/2

### VI.7.8 Tolerancia por Tiempo de Suministro de Potencia a una Máquina

La tolerancia requerida para los elementos correspondientes a la alimentación o suministro de potencia diferirán con frecuencia de los requeridos por elementos de esfuerzo. Generalmente se consideran dos factores al aplicar tolerancias por suministro de energía o fuerza motriz. Estos factores son variación de potencia y mantenimiento de herramientas.

Las tolerancias se establecen por variación en la potencia ocasionada por velocidades reducidas provenientes del resbalamiento de una banda de transmisión, o de paros por reparaciones menores. En caso de que fueran necesarias reparaciones de consideración habría que añadir un margen adicional. Esta tolerancia extra no se aplicaría dentro del estándar, sino que sería un estándar independiente para cubrir la reparación de la máquina.

La tolerancia por mantenimiento de herramientas proporciona tiempo para que el operario dé servicio a sus herramientas después de la preparación original. En el tiempo de preparación es de esperar que el operario se disponga a utilizar herramientas de primera clase con buen afilado. Por lo general, poco mantenimiento de herramientas ocurre durante el curso de una operación de producción de tipo medio. Es natural que en largos períodos de trabajo las herramientas tengan que ser afiladas periódicamente. La tolerancia en porcentaje por mantenimiento de herramienta variará en razón directa con el número de herramientas desgastables en la preparación.

#### VI.7.9 Aplicación de las Tolerancias o Márgenes

El propósito fundamental de las tolerancias es agregar un tiempo suficiente al tiempo de producción normal que permite al operario de tipo medio cumplir con el estándar cuando trabaje a ritmo normal. Se acostumbra expresar la tolerancia como un multiplicador, de modo que el tiempo normal, que consiste en elementos de trabajo productivo, se pueda ajustar fácilmente al tiempo de margen. Por tanto, si se tuviera que conceder una tolerancia de 15% en una operación dada, el multiplicador sería 1.15

Se debe tener cuidado cuando se incluye la tolerancia en el estándar del estudio de tiempo, ya que el margen se basa en un porcentaje de tiempo de producción diaria y no en el día de trabajo global.

La tolerancia se basa en el tiempo de producción normal, puesto que este valor es al que se aplicará el porcentaje en estudios subsiguientes.



# ANEXO

PRACTICAS DE  
ESTUDIO DEL TRABAJO

## Práctica No. 1

### PRODUCTIVIDAD

#### SITUACION:

A una compañía fabricante de utensilios de cocina se le ha presentado el problema de optimización de material en el corte de discos para la fabricación de ollas de diferentes dimensiones.

Se requiere fabricar los siguientes artículos mensuales, con las siguientes características:

- 1.- 500 ollas de 16 cms. de diámetro en el fondo y para cada una se requiere un disco de aluminio de 17 cms. de diámetro y 2 mm. de espesor.
- 2.- 400 ollas de 20 cms. de diámetro en el fondo y para cada olla se requiere un disco de aluminio de 20.5 cms. de diámetro y 2 mm. de espesor.
- 3.- 350 ollas de 22 cms. de diámetro en el fondo y para cada olla se requiere un disco de aluminio de 22.5 cms. de diámetro y 2 mm. de espesor.
- 4.- 155 ollas de 24 cms. de diámetro en el fondo y para cada olla se requiere un disco de aluminio de 24 cms. de diámetro y 2 mm. de espesor.

Se dispone de aluminio ya rolado a 2 mm. de espesor 1.5 cm. de ancho y 40 mts. de longitud y de 980 kgs. de peso.

#### PROBLEMA:

Se desea maximizar el material de tal manera que se cumplan con los requisitos anteriores que fueron fijados por el Departamento de Control de Producción y lograr un ahorro. Si cada metro ya rolado tiene un costo de \$ 600.00 y el kilogramo de desperdicio tiene un costo de \$ 307.00/kg., por fundirlo y rolarlo nuevamente para obtener aluminio de 2 mm. de espesor por 1.5 mts. de ancho.

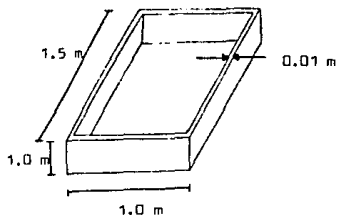
## Práctica No. 2

### PRODUCTIVIDAD

#### SITUACION:

Una fábrica de depósitos se ha enfrentado a la necesidad de realizar cambios en su planta de producción con respecto a los procesos que actualmente tiene, ya que los existentes han aumentado considerablemente su costo de producción, por lo que le ha encargado al Ingeniero de Métodos que realice un estudio profundo de productividad tomando como objetivo lo siguiente:

Se quieren fabricar cajas como la que se muestra en la figura con las especificaciones que ahí mismo se presentan.



#### PROBLEMA:

El problema al que se enfrenta el Ingeniero es decidir cuál de los dos métodos siguientes es el más económico y por cuál de estos métodos se obtendrá mayor cantidad de cajas a menor costo, si se tienen las siguientes condiciones:

- 1er. Método: Cortar y Soldar
- 2do. Método: Cortar, Doblar y Soldar

#### Material:

Lámina metálica de 55 mts. x 3.1 mts.

**Costos de Operación:**

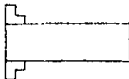
Corte: \$ 300.00 c/u  
Dobleses: \$ 1,000.00 c/doblez  
Soldadura \$ 750.00 /m

**Práctica No. 3**

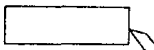
**DIAGRAMA DEL PROCESO**

Una compañía fabricante de Tuercas y Tornillos tiene un problema para el registro de sus operaciones y le gustaría representar ésto de manera gráfica para sus archivos de producción, por lo que le pide a un analista de métodos que desarrolle el cursograma sinóptico de Trusquin en el torno 420, que se realiza en el Departamento de Procesos de Corte de Materiales y para ello se le da la siguiente información:

1.- Sujetar la pieza material 1010  
cold rolled  
diámetro = 1 pulg.



2.- Refrentar



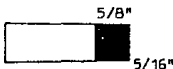
3.- Abrir centros con broqueto 3/4"



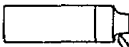
4.- Marcar distancias a cilindrar  
3/4" y cilindrar



5.- Entintar y marcar distancias  
5/8", 5/16"



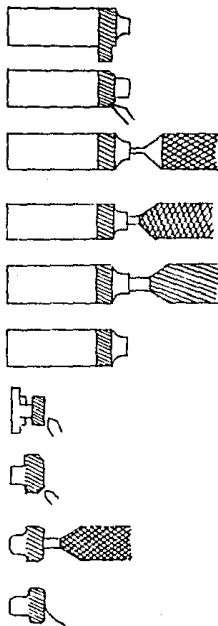
6.- Hacer espiga, rebajar 1/2" y  
refrentar a 5/16"  
(dejar mat. radio)



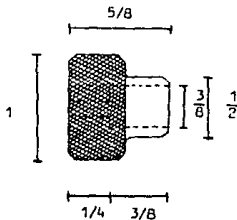
7.- Ranurar zona de moleteado



- 8.- Moletear en diagonal
- 9.- Hacer chaflán de 1 mm. 45 grados y 0.5 mm. en la espiga, pulir
- 10.- Hacer perforación con broca No. 3 a 3/4"
- 11.- Hacer barreno diámetro 3/8" a 3/8"
- 12.- Aplanar barreno 3/8
- 13.- Cortar con segueta (usando papel en la bancada)
- 14.- Refrentar
- 15.- Achaflanar a 45 grados 1 mm.
- 16.- Roscar con machuelo a 1/4" 28 hilos N.F.
- 17.- Pulir



Fabricación de una tuerca de trusquin en torno. Laboratorio de procesos.



## Práctica No. 4

### DIAGRAMA DEL PROCESO

#### SITUACION:

Una compañía fabricante de utensilios de cocina ha notado una baja en la producción de uno de sus artículos. Por lo que le pidió al supervisor que pasara una descripción completa de la elaboración de ese producto y los problemas que él notara, por lo que el gerente de planta recibe la siguiente información:

Para elaborar una olla de aluminio (10516) se siguió el siguiente procedimiento: El día 23 de junio de 1980, una persona que se encuentra en una mesa toma discos de aluminio de una pila y los coloca en la mesa donde tiene un depósito con aceite y una estopa, con la cual va aceitando disco por disco y colocándolos en el otro extremo de la mesa hasta terminar con los discos acercados; luego baja a otra pila, los discos ya aceitados y repite la operación.

La persona operadora de la máquina 218 toma una pila de discos de los ya aceitados y regresa a su máquina caminando 3 mts. con los discos que aguante, una vez estando en su máquina toma y opera para el primer embutido. El tiempo sólo del embutido es de 6 segundos, saca la pieza de la máquina y la coloca en la banda, la cual la transporta 50 mts. hasta donde se encuentra la máquina 209 en donde se sella, se le hace el vapor y se corta el sobrante, el cual es retirado manualmente corriendo el riesgo de accidente; el tiempo de operación es de 6 segundos, de ahí la persona que opera la máquina 209 coloca en la banda el artículo, el cual recorre 15 mts. hasta llegar a la máquina 315, en donde una persona raya y acordona el artículo, lo cual tienen una duración de 8.5 segundos por cabezal; el mismo operador tiene que alimentar 2 cabezales. Como el tiempo es mayor que el de la máquina anterior se le van amontonando, por lo que tiene que bajar piezas al suelo, pero además de esto a veces le cuesta trabajo colocar la pieza en el cabezal porque se enchueca o viene muy justa, por lo que la persona se encuentra rodeada de artículos para procesar.

Para pasar al siguiente paso se coloca el artículo en banda y es transportado a las esmeriladoras que se encuentran a 3 mts. El tiempo de esmerilado es de 24.3 segundos y se

hace manualmente, están dos personas por lo que a veces están sin trabajar ambas. Estas mismas personas van colocando las piezas en banda ya esmeriladas para que pasen a la siguiente operación, la distancia es de 1.40 mts.

Al final de la banda se encuentra un disco giratorio donde llegan todas las piezas de la línea y en donde se encuentra una persona (o varias) seleccionando las piezas para la siguiente operación, colocándolas en estibos diferentes. Dependiendo del proceso a seguir, las piezas ya esmeriladas son colocadas en una caja hasta que ésta se llena y las no esmeriladas las colocan en otra caja, ya que a las personas de esmerilado por distracción en el trabajo con frecuencia se les pasan las piezas sin esmerilar, las cuales son regresadas cuando ya se cuenta con una cantidad considerable.

La primer caja ya llena se lleva al inicio de la banda de los pulidores, se coloca en banda en donde avanzan de 20 a 25 mts. dependiendo de qué pulidor no tenga trabajo y ahí se realiza el pulido exterior que tarda 15 segundos. El operador coloca la pieza ya pulida en banda para que avance de 2 a 7 mts., dependiendo de dónde se hizo el pulido, para que se realice el mateado de fondo que tiene una duración de 7 segundos; hay dos personas haciendo esta operación, van colocando las piezas conforme van mateando el fondo en la banda que las lleva a ensamble, que se inicia a los 8 mts.

El ensamble se inicia remachando asas (3 segundos/asa). En ocasiones no cae el remache y el operador tiene que desatorarlo, por lo que se le pasan algunos artículos y se siguen hasta el final. Los productos ya con asas los colocan en una rampa de 80 cms. de largo que desemboca en la banda de la lavadora, en donde se encuentra una persona colocándolos de forma que se desengrasen y no se golpeen ni se caigan y son transportados a través de esta lavadora por 25 mts. para desengrase. Al final de la lavadora se encuentra otra persona colocando los artículos que salen en una tarima y al mismo tiempo los inspecciona. Una vez llena la tarima los artículos son transportados con montacarga a la línea de ensamble, 40 mts.

La última persona toma un artículo, una tapa, los etiqueta, los envuelve y los coloca en otra tarima. Finalmente, una vez llena la tarima es llevada al almacén de productos terminados, con un montacargas.

**PROBLEMA:**

El gerente de planta no sabe cómo analizar la información y desea hacerla más ágil, por lo que le pide al Ingeniero de Métodos que resuelva el problema, el cual toma la determinación de pasarlo a un diagrama del proceso recorrido o cursograma analítico.

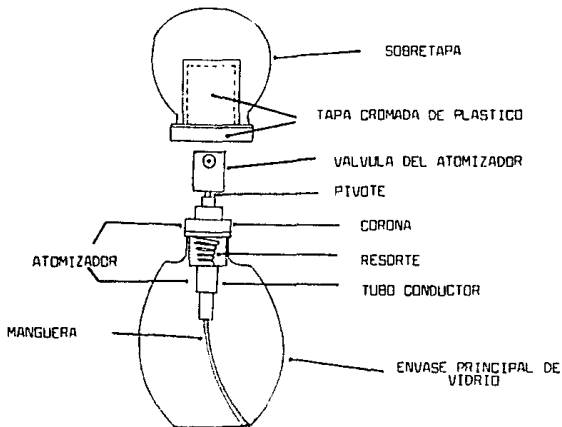
**Práctica No. 5**

**DIAGRAMA DEL PROCESO**

**SITUACION:**

Una compañía fabricante de perfumes se ha encontrado en un dilema al no tener representación gráfica de la situación del proceso de su actual producto. Para ello ha mandado a una persona a hacer el seguimiento en planta y ha traído la siguiente redacción:

El perfume marca especial consta de : Envase de vidrio de 40 ml., una sobretapa de plástico, una tapa de plástico, atomizador, corona, válvula de atomizador, pivote, resorte, líquido (perfume), tubo conductor y manguera.





El proceso de ensamblado de éstos los describe de la siguiente manera:

En una mesa se ensambla el atomizador, al cual se le coloca el resorte junto con el tubo conductor, la manguera se mete a presión al tubo con la prensa 202, en seguida se ensambla el pivote a la válvula. Para checar el funcionamiento final, está una persona y este subensamble se reconoce con el No. 25.

Por otra parte se realiza el resorte que lleva el siguiente proceso: Entra el alambre, el cual es embobinado, cortado, tratado termicamente y revisado.

En la máquina 302 de plásticos se fabrica el pivote, que tiene como materia prima un polímero, el cual es introducido a la máquina para que la parte salga por extracción, se le hace un corte y se inspecciona.

En la máquina 303 de plásticos se fabrica la manguera que también tiene como materia prima un polímero, el cual es depositado en la máquina para que la parte sea extraída, revisada, cortada e inspeccionada.

La tapa de plástico y la sobretapa son realizadas al mismo tiempo en la máquina 303, el polipropileno es depositado en ésta para su fundición. Se realiza la inyección para que salgan ya formadas las tapas, se dejan enfriar por 30 minutos, se realiza una inspección del 10% de las piezas. Son separadas las tapas y sobretapas, las tapas son colocadas en un rack para que pasen por medio de una banda a los tanques de cromado, de ahí a la inspección de éstos al 100% y se separan para su uso siguiente.

La válvula del atomizador también es fabricada de polipropileno, el cual es depositado en la máquina 304 e inyectado para el acabado total de la tapa, se deja para enfriamiento 30 minutos y después se realiza una inspección del 10% de las piezas.

Preparación del perfume: Se miden y pesan todos los ingredientes, son colocados en un recipiente, se realiza la mezcla, se deja reposar y se inspecciona.

El envase de vidrio, la corona, las materias primas para la elaboración del líquido y las etiquetas son compradas.

En una máquina semi-automática de llenado de envases (306) se conectan las mangueras del líquido, se colocan los frascos y las coronas en sus respectivos lugares y en una caja se acercan suficientes atomizadores.

El proceso es el siguiente: Automáticamente se realiza el llenado de los envases regulando la cantidad manualmente, pero sin mover el frasco de lugar. Se coloca el atomizador que lleva por número 25. La banda corre a otro lugar en donde baja automáticamente la corona que sella al frasco con el atomizador; posteriormente sobre la misma banda se le coloca al envase la válvula del atomizador y la tapa de plástico. En otro centro de trabajo se le coloca la sobretapa a presión y las etiquetas. En otra mesa se realiza una inspección de donde finalmente otra persona va tomando los envases ya inspeccionados para meterlos en su empaque final. De ahí son colocados 25 perfumes en cada caja para pasar finalmente al almacén.

#### PROBLEMA:

Se desea realizar un Cursograma Sinóptico o un Diagrama de Proceso del recorrido de todo el producto.

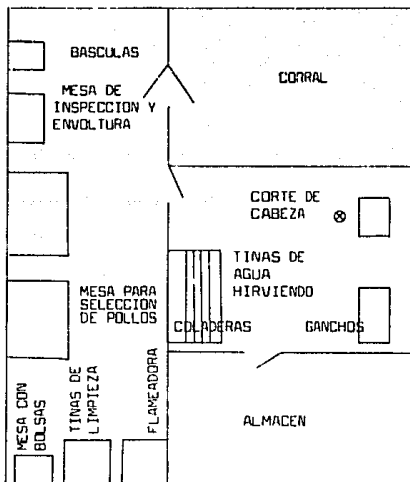
### Práctica No. 6

#### DISTRIBUCION DE PLANTA

#### SITUACION:

En una empresa (familiar) empacadora de pollos se ha encontrado una situación en la que las operaciones se llevan a cabo tal como se describe a continuación: La disposición del lugar de trabajo es la que se ve en el siguiente diagrama.

Tres personas cogen los pollos y los matan cortándoles la cabeza, se les cuelga de las patas de ganchos para drenar la sangre. Los pollos se llevan a dos tinas donde se sumergen en agua hirviendo.



Otro operario se dedica a operar la máquina desplumadora y para ello va a los tanques de agua hirviendo, camina 10 mts., llena una canasta con 10 pollos y procede a desplumarlos con la máquina.

Un quinto operario va por los pollos desplumados a donde se encuentra la máquina desplumadora y los lleva a una mesa de selección en donde los inspecciona, les quita las plumas restantes y los lleva a la flameadora en donde otro operario realiza esta operación.

Los pollos ya flameados son llevados por el mismo operario a las 2 tinas de limpieza, en donde son despojados de sus visceras y patas que se colocan en una bolsa de polietileno. Los pollos son lavados y se colocan las visceras dentro del pollo, se ponen en cajas de plástico y se llevan a una mesa para ser inspeccionados, pesados y envueltos.

Si esta persona encuentra un pollo con plumas o sucio lo regresa a reiniciarse el proceso.

Una vez envueltos los pollos son llevados en una carretilla al congelador en donde aguardan hasta su entrega.

**PROBLEMA:**

Suponga que usted es el analista de métodos de este problema. Es necesario proponer un arreglo eficiente del equipo y especificar las aberturas en los muros y las divisiones que se deben incluir, para ello hay que plasmar ésto en una hoja adecuada, describiendo el método propuesto por medio de un diagrama para poder explicar razones y detalles de las especificaciones que se propongan.

**Práctica No. 7**

**HOMBRE-MAQUINA**

**SITUACION:**

En una fábrica se tienen registrados los siguientes datos, para la producción de un cepillo:

OPERACION	TIEMPOS (minutos)
1a. Poner base de madera en máquina	0.2
2a. Cargar máquina con cerdas de nylon	0.3
3a. Poner en marcha la máquina	0.15
4a. Quitar producto terminado de máquina	0.25
5a. Inspeccionar pieza terminada	0.3
6a. Acomodar pieza terminada en caja	0.1
7a. Caminar de una máquina a otra	0.1
8a. Trabajo automático de la máquina	4.2

Un operario puede manejar más de una máquina, pero su pago variará de acuerdo a la siguiente tabla:

NO. DE MAQUINAS	1	2	3	4	5	6
Sueldo diario (8 hrs.)	\$ 500.-	600.-	675.-	730.-	575.-	810.-

El costo de operación por hora de cada máquina es de \$ 80.-

**PROBLEMA:**

Primero determine el No. de máquinas que deberá operar un obrero y después elabore el diagrama hombre-máquina para un tiempo de 8 minutos, indicando el ciclo.

**Práctica No. 8**

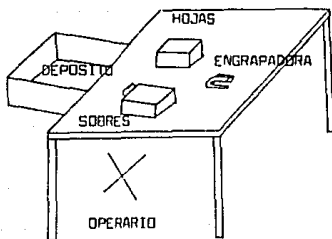
**DIAGRAMA BIMANUAL**

**SITUACION:**

En una compañía Editorial se tienen que compaginar a cada momento hojas, engraparlas, colocarlas en un sobre, sellar el sobre y colocarlas en un estante para luego ser empacadas en una caja.

La operación se ha estado haciendo de la manera que se describe a continuación y el lugar de trabajo se tienen como muestra la figura.

El operario toma hojas con la mano derecha, se las pasa a la mano izquierda, con la mano derecha cuenta y separa la cantidad de hojas a engrapar, las coge y con la mano izquierda deja los sobrantes. Con ambas manos las pone en orden y las empareja golpeándolas horizontal y verticalmente sobre la mesa. Con ambas manos las dirige a la engrapadora las suelta con la mano derecha con la cual golpea la engrapadora.



Las hojas ya engrapadas son puestas encima de la mesa, mientras con la mano izquierda toma un sobre de las pestañas, lo gira hacia la mano derecha con la cual lo abre, la mano derecha inmediatamente se dirige a tomar nuevamente las hojas engrapadas y colocarlas dentro del sobre. Con ambas manos cierra el sobre y lo dirige a la engrapadora. Con la mano derecha golpea la engrapadora, toma el sobre con la mano izquierda y lo coloca en el depósito.

**PROBLEMA:**

El gerente de producción se siente preocupado por el método actualmente utilizado, ya que es un trabajo rutinario que se realiza 8 hrs. diarias durante toda la semana, por lo que le ha pedido al analista que realice el diagrama bimanual del método actual y utilizando las leyes de economía de movimientos realice un diagrama bimanual mejorado. ¿Le puede ayudar?

## Práctica No. 9

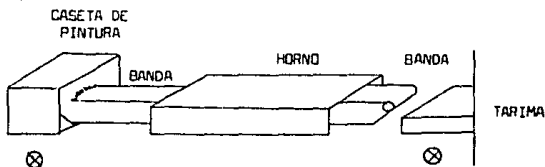
### CRONOMETRAJE

#### SITUACION:

En una compañía de pintura horneada de partes automovilísticas se ha encontrado la necesidad de cronometrar los elementos que componen una determinada tarea, para saber cuál es la que más tiempo consume y cómo poder reducirlo, por lo que se ha escogido la operación que se describe en seguida:

Para pintar la salpicadera delantera de un auto se sigue el proceso siguiente:

Se despolva manualmente la salpicadera, se coloca en un dispositivo, se opera la pistola por medio de un botón que está controlado por un timer, una vez que se suspende la pistola el operador toma la pieza con un dispositivo especial y la coloca en la banda transportadora que la irá llevando a través de 15 mts. de horno, al final de la banda se encuentra otra persona que tomará la pieza ya horneada con una grúa y la colocará en una tarima. El lugar de trabajo es el siguiente:



**PROBLEMA:**

El problema de la compañía es como dividir el proceso en operaciones y tales operaciones en elementos. Ver los problemas y ventajas que se presentarían al hacer la división o al no hacerla.

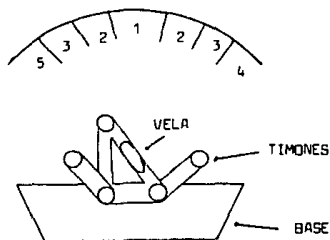
**Práctica No. 10**

**TIEMPO ESTANDAR**

**SITUACION:**

A una compañía fabricante de juguetes se le han presentado nuevos diseños de juguetes en los que se encuentra un barco compuesto por barritas de plástico y tornillos, se desea saber como descomponer en elementos y si se debe descomponer, que sistema de cronometraje utilizar, que sistema de valoración, calificación, el número de observaciones, si se tiene alguna curva de aprendizaje, como sacarla o si no es necesaria, ya que la cantidad de producción es muy elevada.

La figura del juguete es el siguiente:



- 1.- Tornillos
- 2.- Tuercas
- 3.- Timones
- 4.- Vela
- 5.- Base



**PROBLEMA:**

Qué cronometraje utilizaría usted y porqué, cuál será el tipo estandar de armado del barco, cuantas piezas por hora sacaría y cuántas horas por cien piezas llevaría el trabajo, conteste las preguntas contenidas en un principio y éstas últimas.

**Práctica No. 11**

**MUESTREO**

**SITUACION:**

En una compañía fabricante de juguetes se han presentado problemas de mantenimiento, de falta de material, de limpieza de máquinas, de suplementos y otros. No se sabe por qué la producción que inicialmente se sacaba no se cumple.

Se ha tomado la determinación de realizar un muestreo de trabajo en la zona donde se presenta el problema.

**PROBLEMA:**

Se desea saber cuales son los eventos que se presentan, porcentaje de presencia. Cómo utilizar estos porcentajes si la producción actual es de:

BARCOS:	800
COCHES:	300
CASITAS:	500
ROSITAS:	800
SEÑALES:	200

¿ Cuántos se sacaban antes, cuántos se podrían sacar: Se sugiere algún cambio o modificación y por qué?

## Práctica No. 12

M T M - 1

### SITUACION:

Una empresa fabricante de juguetes se ha encontrado con la necesidad de establecer un método de trabajo y además cuantificarlo para todos los artículos que fabrica.

La operación que ha causado más problemas ha sido el armado de un barco, por lo que se ha tomado la determinación de tomarlo como base para estudios siguientes:

### PROBLEMA:

El problema que se presenta es el hecho de que no se sabe si es la persona idónea para realizarlo y no se tiene la idea de la calificación de actuación, por lo que se ha decidido hacerlo por medio de sistemas de tiempos predeterminados. Realice el estudio calculando el tiempo estándar, piezas por hora, horas por cien piezas y compararlo con los obtenidos con cronómetro. Diga las diferencias y cuáles serían los problemas por lo que existen diferencias o por lo que no existen éstas.

## Práctica No. 13

### ECONOMIA DE MOVIMIENTOS Y DETERMINACION DE COSTOS Y TIEMPO ESTANDAR

### SITUACION:

Una compañía fabricante de plumas se ha encontrado con el problema de no saber cual es en realidad el costo de mano de obra que está invirtiendo en el armado de la pluma que se muestra en la figura (1).

La pluma consta de base, tapa, resorte, sistema de amortiguamiento, repuesto y anillo. La distribución del lugar

de trabajo y piezas mencionadas se pueden observar en la figura (2).

La forma de armar la pluma es la siguiente:

- 1.- Con la mano izquierda toma la tapa
- 2.- Con la mano derecha toma el sistema de amortiguamiento y lo coloca en la tapa
- 3.- Deja la tapa con sistema de amortiguamiento en la mesa
- 4.- Con la mano izquierda toma la base y simultáneamente el resorte con la derecha y lo coloca dentro de la pluma
- 5.- Con la mano derecha coge el repuesto y lo coloca en la base
- 6.- Con la mano derecha coge el anillo y lo coloca en la base
- 7.- Con la mano derecha coge la tapa de la mesa y la coloca en la base y la enrosca
- 8.- Coge la pluma con la mano derecha, la prueba y la coloca en la caja de productos terminados
- 9.- Otra persona toma 10 piezas del producto terminado y los coloca en una cajita ya armada y los coloca en una mesa, su tiempo estándar es de 150 cajitas por hora

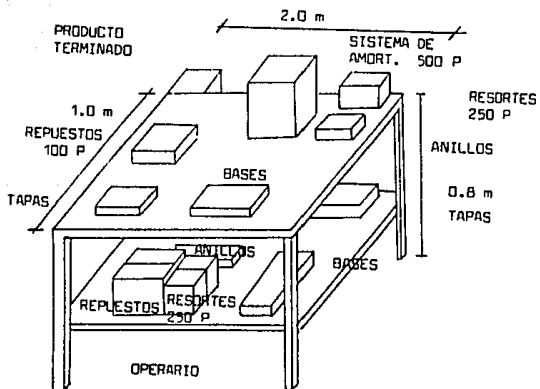
**PROBLEMA:**

- a) Se quiere determinar el estándar de armado de pluma actual y su costo.
- b) Se quiere determinar el tiempo estándar de una nueva forma de hacerlo, es decir, un método mejorado y determinar cuál sería el costo.
- c) Si existiera alguna otra forma de ponerlo en el mercado para ahorrarse dinero ¿cuál sería?

**FIGURA 1**



**FIGURA 2**



## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Este trabajo intentó atacar los puntos más importantes en forma general del Estudio del Trabajo.

Lo fundamental es comprender los principios correctos para aplicarlos correctamente y así obtener mejores resultados. Los caminos para lograrlo son muy variados, sin embargo, en el que se elija, se concluye lo siguiente:

- \* El aumento de la productividad radica en un mejor desempeño de las actividades.
- \* El buen desempeño de las actividades depende en gran medida de una buena comunicación; es decir, el Estudio del Trabajo puede ser utilizado para ayudar a resolver problemas en el manejo de información.
- \* El trabajador debe sentirse (y ser) co-partícipe de la tarea común de producir para lograr mejores resultados.
- \* Es necesario establecer factores prioritarios que nos conduzcan a conocer mejor una operación; ésto es, conocer mejor los recursos con los que se cuenta y así saber las limitaciones y posibilidades de la misma.
- \* Reducir o eliminar el desperdicio, es decir, cualquier actividad que no incremente valor al producto o servicio al cliente como: reducir la cantidad de trabajo ya sea eliminando movimientos innecesarios, sustituyendo métodos malos por buenos, eliminando tiempos improductivos, etc.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- \* Hernández, Silvina Prácticas de Estudio del Trabajo Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México, 1982.
- \* Moore, Franklin G. Administración de la Producción Editorial Diana, S.A. México, 1977.
- \* Niebel, Benjamin W. Ingeniería Industrial. Estudio de Tiempos y Movimientos Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México, 1980.
- \* Organización Internacional del Trabajo Introducción al Estudio del Trabajo Editorial Limusa Noriega. México, 1990.
- \* Proaño, Humberto Estadística Aplicada a la Mercadotecnia Editorial Diana, S.A. México, 1975.
- \* Secretaría del Trabajo y Previsión Social Medición de la Productividad Industrial Dirección General de Administración de Recursos Materiales y Servicios Generales dependiente de la Oficialía Mayor de la S.T.P.S. México, 1988.