

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

APLICACION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES
PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA
INGENIERIA INDUSTRIAL

TESIS
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

CESAR AUGUSTO AKU CASTILLO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO 1995

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08
T (3552)
C. H.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO:	Br. Freddy Rodríguez Quezada
VOCAL QUINTO:	Br. Mario Nephtalí Morales Solís
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

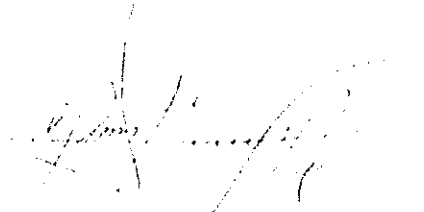
DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR:	Ing. José Raúl Solares Chui
EXAMINADOR:	Ing. Julio Roberto Alvarez Mejía
EXAMINADOR:	Ing. Juan Carlos Asturias Utrera
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley
de la Universidad de San Carlos de Guatemala,
presento a su consideración mi trabajo de tesis
titulado:

APLICACION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES
PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA
INGENIERIA INDUSTRIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.



CESAR AUGUSTO AKU CASTILLO

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS: Por haberme dado la sabiduría,
fortaleza e iluminación para
alcanzar esta meta.

A MIS PADRES: Eliseo Basilio Akú Toca
Marta Albertina Castillo Franco
Julio R. Castillo Franco
América Gálvez de Castillo

Por su apoyo y cariño que siempre me
han expresado.

A MI FAMILIA: Miriam Patricia Rubio de Akú
Lisbeth Noemi Akú Rubio
Luis Enrique Akú Rubio

Por ser lo más grande y más hermoso
que tengo.

A MIS HERMANOS: Carlos Enrique, Luis Raúl y Victor
Hugo Akú Castillo; Karla Noemi,
Lisbeth Maribel y Julio Rolando
Castillo Gálvez.

Por el amor y respeto que les
guardo.

A MI FAMILIA EN GENERAL

A MI AMIGO Alcides Vásquez Velázquez

Por su apoyo y su amistad
desinteresada.

A MIS COMPAÑEROS EN GENERAL

Guatemala, 28 de abril de 1, 995.

Ing. Jorge Peláez Castellanos
Director de la Escuela Mecánica-Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad.

Señor Director:

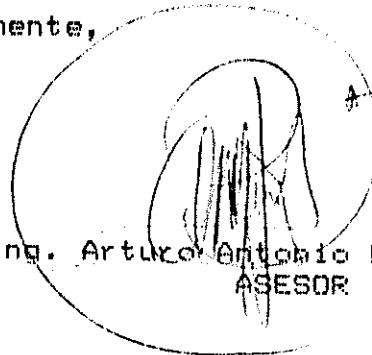
Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de tesis del estudiante CESAR AUGUSTO AKU CASTILLO, previo a obtener el título de Ingeniero Industrial.

El trabajo en mención se titula "APLICACION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA INGENIERIA INDUSTRIAL". He asesorado y revisado el trabajo, y considero que llena satisfactoriamente los requisitos para su aprobación. Además, estimo que el trabajo de investigación será útil herramienta para la aplicación en cursos del área profesional de las carreras de ingeniería.

Es oportuno señalar que los conceptos y comentarios expuestos en el transcurso del trabajo son responsabilidad del autor, la que se extiende a mi persona al dar la aprobación al trabajo mencionado, dada mi calidad de asesor.

Agradeciendo su atención a lo antes descrito, me suscribo.

Atentamente,



Ing. Arturo Antonio Ruiz Pérez
ASESOR



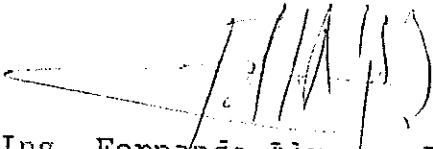
FACULTAD DE INGENIERIA

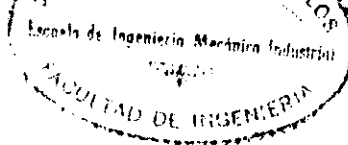
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador General de Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y del Licenciado en Letras, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, el contenido y la presentación del trabajo de tesis titulado **APLICACION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA INGENIERIA INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario César Augusto Akú Castillo, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

LIBRO Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Fernando Alvarez Paz
COORDINADOR GENERAL DE LAS TESIS
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, mayo de 1,995.



FACULTAD DE INGENIERIA

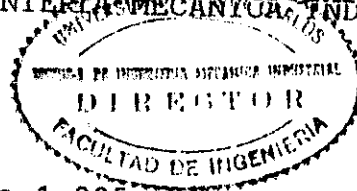
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Coordinador de Área y del Coordinador General de Revisión de Tesis titulada Aplicación de la Investigación de Operaciones para la Toma de Decisiones en la Ingeniería Industrial, presentado por el estudiante universitario César Augusto Akú Castillo, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

EDUCACIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing. Jorge Peláez Castellanos
DIRECTOR
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL



Guatemala, mayo de 1,995.

emds



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de tesis titulado Aplicación de la Investigación de Operaciones para la Toma de Decisiones en la Ingeniería Industrial, presentado por el estudiante universitario César Augusto Akú Castillo, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
DECANO EN FUNCIONES



Guatemala, mayo de 1,995.

ends

I N D I C E

INTRODUCCION	I
OBJETIVOS	II
SECCION I INTRODUCCION	
CAPITULO 1 INTRODUCCION	
1.1 Historia de la Ingeniería Industrial	1
1.2 Historia del origen de la carrera Ingeniería Industrial en la Universidad de San Carlos	3
1.3 Historia de la Investigación de Operaciones	4
1.4 Actividades de la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones	6
1.4.1 Actividades básicas	
1.4.2 Recursos de la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones.	
SECCION II HERRAMIENTAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL E INVESTIGACION DE OPERACIONES EN AREAS TRADICIONALES DE APLICACION	
CAPITULO 2 DISEÑO DE INSTALACIONES	
2.1 Significado del diseño de instalaciones	8
2.2 Cómo determinar el número de máquinas	8
2.2.1 Enfoque de la Ingeniería Industrial Tradicional	
2.2.2 Enfoque de la Investigación de Operaciones	
2.3 Diseño de la distribución de planta	13
2.3.1 Enfoque básico	
2.3.2 Métodos de distribución manuales	
2.3.3 Métodos de distribución computarizados	
2.4 Ubicación de las instalaciones	17
2.4.1 Clasificación de los problemas de ubicación de las instalaciones	
2.4.2 Ubicación de la planta	
2.4.3 Modelos de ubicación	

CAPITULO 3 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

3.1	Significado de la planeación y control de la producción	26
3.2	Pronósticos	27
3.2.1	Enfoque de pronósticos: comparación de los métodos subjetivos con los métodos cuantitativos	
3.3	Planeación agregada	28
3.3.1	Enfoques para soluciones alternativas	
3.3.2	Un enfoque de la programación lineal	
3.4	Programación	32
3.4.1	Programación y control de la producción a nivel de taller	
3.4.2	Herramientas de la programación y control Diagramas de Gantt Técnicas cuantitativas	
3.4.3	Programación en talleres con Producción intermitente	
3.4.4	Problemas de programación de operaciones	

CAPITULO 4 CONTROL DE INVENTARIOS

4.1	Definición de control de inventarios	38
4.2	Clasificación de situaciones de inventario	38
4.2.1	Costos considerados	
4.2.2	Proceso de reabastecimiento de inventario	
4.2.3	Naturaleza estocástica de la situación de inventario	
4.2.4	Criterio de revisión	
4.2.5	Interdependencia de artículos	
4.3	Modelo de Wilson para el tamaño del lote	40
4.3.1	Modelo gráfico	
4.3.2	Modelo matemático	
4.4	Modelos sobre el tamaño del lote de producción	43
4.5	La planeación de las necesidades de materiales	45

CAPITULO 5	CONTROL DE CALIDAD	
5.1	Naturaleza del Control de Calidad	47
5.2	Base estadística para el Control de Calidad	49
5.3	Control del proceso	51
5.4	Muestreo de aceptación	51
SECCION III	PRODUCTIVIDAD	
CAPITULO 6	PRODUCTIVIDAD	
6.1	Definición de productividad	53
6.1.1	Componentes de la administración de la productividad	
6.2	Programas de productividad	55
6.3	Productividad, Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones	55
6.4	Medición de la productividad	56
6.5	Cómo mejorar la productividad	58
CONCLUSIONES	III
RECOMENDACIONES	IV
BIBLIOGRAFIA	V

INTRODUCCION

Durante mucho tiempo, se pensaba en el personal de una planta como máquinas que no tenían más objetivo que el del producir al máximo un determinado producto. Con los resultados obtenidos, se observó que no era tan fácil utilizar este pensamiento; fue entonces cuando las teorías y técnicas para el manejo del personal de una planta iniciaron las modificaciones que nos condujeron a una serie de cambios trascendentales en la ingeniería moderna.

Dentro de la nueva etapa de la ingeniería, la investigación de operaciones resulta ser una herramienta muy útil en la planeación de mejoras en casi cualquier tipo de producción o actividad que se desarrolle técnicamente. Es por ello, que es necesario en un futuro, que el ingeniero industrial u otro profesional conozca aspectos relevantes de la aplicación de la investigación de operaciones en la toma de decisiones en el campo de trabajo. Para lograr parte de este objetivo, se realizó el presente trabajo de investigación; para que sirva de ayuda en el desarrollo de dicha aplicación, dividiendo para ello el trabajo en tres secciones; en la Sección I: se desarrolla en forma breve, la historia de la ingeniería industrial, de la investigación de operaciones, y del desarrollo de la ingeniería industrial con sus aplicaciones de investigación de operaciones que puedan aplicarse en la facultad de ingeniería.

En la Sección II: se explica lo referente a las herramientas de la ingeniería industrial y de la investigación de operaciones en áreas tradicionales de aplicación; y en la última sección, se estudia la productividad dentro de la ingeniería industrial y cómo poder mejorarla de alguna manera aplicando para ello las técnicas de la investigación de operaciones, y como parte final, se dan conclusiones y recomendaciones que se consideraron importantes para llenar los objetivos de la presente tesis.

Se realizó la investigación con el propósito que sea una herramienta de gran utilidad para enriquecer los conocimientos de los estudiantes y profesionales de la ingeniería industrial, gracias a los modelos de decisión que implican el estudio de la investigación de operaciones.

OBJETIVOS

GENERALES:

1. Contribuir al estudio del tema en el área de Métodos Cuantitativos.
2. Proporcionar otros modelos y métodos de Investigación de Operaciones para la toma de decisiones.
3. Participar en el desarrollo de la Ingeniería Industrial, en el campo de la toma de decisiones.

ESPECIFICOS:

1. Dar una base a los estudiantes de Ingeniería Industrial y/o Mecánica como guía para la solución de problemas en el campo de trabajo.
2. Contribuir a la aplicación de la Investigación de Operaciones para relacionar conceptos ingenieriles y económicos, y así obtener una mejor productividad.
3. Responder a la necesidad de tener mejores técnicas y modelos para la optimización de los recursos con que se cuenta en un momento determinado.

S E C C I O N I

INTRODUCCION

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 HISTORIA DE LA INGENIERIA INDUSTRIAL

Por lo general, se atribuyen los primeros trabajos de ingeniería a los economistas e industriales de Inglaterra de principios del siglo XIX. El economista escocés Adam Smith realizó las primeras observaciones respecto a la economía inherente a la división del trabajo en las tareas de manufactura. Afirmaba que al dividir una tarea de producción, en pequeñas tareas especializadas, se podía obtener a un costo mucho menor que si se asignara un trabajador para toda la tarea. Asimismo esta economía se debía: 1) al desarrollo de nuevas habilidades cuando una sola tarea se ejecuta repetidamente, 2) al ahorro del tiempo que se perdía en el cambio de un trabajo a otro; y 3) a la invención de nuevas herramientas y equipo de aplicación específica.

Charles Babbage amplió el trabajo de Smith; confirmó que al especializar las asignaciones de trabajo no se necesitaría pagar por los niveles de pericia que se usaban solamente durante una fracción del trabajo total. Estas porciones de trabajo que no requieren gran pericia o mucha experiencia se pueden organizar en trabajos individuales separados que implican tasas salariales más bajas. Por lo tanto, el costo general de producción se puede reducir.

Hacia 1795, Matthew Boulton y James Watt establecieron una fábrica moderna muy bien organizada para producir máquinas de vapor en Soho, Inglaterra. Implantaron sistemas administrativos complejos para auxiliar en la operación de la planta, incluyendo estándares para las tareas fabriles. Utilizaron varios libros de registro para detectar el desperdicio y la ineficiencia. También utilizaron métodos de pronóstico, ubicación de la planta, distribución en planta e incentivos salariales. Se consideró que el sistema fabril adelantó de 100 a 150 años a su época.

En América, los avances en la ingeniería industrial empezaron con Frederick Taylor a principios de este siglo. Se le ha llamado con frecuencia "Padre de la Ingeniería Industrial". Mientras que Adam Smith y Charles Babbage fueron los primeros observadores y escritores, fue Taylor quien llevó a la práctica y desarrolló principios y conceptos mediante la experimentación. Se interesó en crear métodos científicos, tanto para la ejecución del trabajo, como para la administración de una planta productiva.

Desde el inicio de la Revolución Industrial hasta la época de Taylor, el trabajo se realizaba con base en reglas empíricas. Por lo general, no había normas respecto a cómo se debía realizar un trabajo específico o qué resultados se debían obtener. No había procedimientos de planeación y análisis administrativo. Taylor contribuyó de manera importante a transformar la administración de una actividad fortuita a una actividad científica. Sus esfuerzos se centraron en cuatro lineamientos para administrar una organización:

1. Desarrollar una ciencia para cada elemento del trabajo de un hombre, con la cual reemplazar los métodos empíricos existentes.
2. Elegir al mejor trabajador para cada trabajo en particular, en vez de dejar que el trabajador elija el trabajo.
3. Dividir el trabajo en partes aproximadamente iguales entre la supervisión y la mano de obra, y asignarlo a quien esté mejor capacitado.
4. Crear un espíritu de cooperación entre la supervisión y la mano de obra con el fin de realizar el trabajo conforme a los procedimientos.

Esta teoría fue aplicada por primera vez en áreas tan diversas como en procesos de corte de metal, estructuras organizativas, sistemas de incentivos salariales, métodos de trabajo, sistemas de medición de trabajo y en la planeación y control de la producción. Sin embargo, su principal contribución fue en la integración de su filosofía como un enfoque práctico de la administración, que condujo hacia la administración científica.

Taylor no fue el único que reconoció la necesidad de un enfoque científico de la administración. Frank y Lillian Gilbreth, un matrimonio que trabajaba en equipo, plantearon gran parte de la teoría y las técnicas que se usan actualmente en los métodos y mediciones del trabajo. Realizaron muchos experimentos en el estudio del tiempo y movimientos en diversas operaciones de trabajo, para establecer principios que ayudaran a diseñar procedimientos de trabajo más eficientes. Henry Gantt también se interesó en la teoría de los métodos de trabajo, pero sus aportaciones más importantes fueron en el área de planeación y control de la producción.

De 1910 a 1930, la Ingeniería Industrial evolucionó rápidamente. Hubo avances significativos en las áreas de métodos de trabajo, diseño de instalaciones, incentivos salariales, evaluación de tareas, teoría organizativa, factores humanos, y en la planeación y control de la producción. Así hasta fines de los años cuarenta, los avances en la Ingeniería Industrial continuaron con la tradición establecida por Tylor, Gantt y los esposos Gilbreth. Pero al principio de los años cuarenta, en los Estados Unidos y la Gran Bretaña, se introdujeron técnicas de investigación de operaciones; desde esa época, gran parte del avance de la ingeniería industrial se ha presentado en el desarrollo y aplicación de las técnicas de investigación de operaciones para resolver problemas de los sectores público y privado.

1.2 HISTORIA DEL ORIGEN DE LA CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

La Universidad de San Carlos de Guatemala fue fundada por Real Cédula del Rey Carlos II de España, emitida en Madrid el 31 de enero de 1776. Las clases se iniciaron el 6 de enero de 1781. Comenzando con las cátedras de Teología, Filosofía, Instituta y Cakchiquel, incorporándose más tarde las de Derecho y Prima de Medicina. En 1776 se enseñó la Física y la Geometría, paso que marcó la iniciación de la enseñanza de las Matemáticas en el reino de Guatemala. La generalización de estos estudios, incluyendo la Agrimensura desde 1834. Entre los primeros graduados con este título, figura el insigne poeta guatemalteco José Batres Montufar.

La creación formal de las carreras de Ingeniería data del año 1875 donde era su casa de estudios la Escuela Politécnica recién fundada. Se entregaron títulos de ingenieros topógrafos, de telégrafos, civiles y militares. En 1879, se estableció la escuela de ingeniería en la Universidad de San Carlos y, por decreto del Gobierno en 1882, se elevó a la categoría de Facultad dentro de la misma Universidad, separándose así de la Escuela Politécnica.

La época contemporánea, a partir de la independencia, fue cuando se le dio importancia al estudio de la matemática dentro de las carreras universitarias y lo que significa por la formación de profesionales de la ingeniería que se destacaron en su especialidad, como Claudio Urrutia, cuya obra máxima fue la compilación del mapa de la República de Guatemala que por tantos años se usó en los centros de enseñanza del país y el Ing. Francisco Vela, autor del mapa en relieve del Parque Minerva.

La Facultad de Ingeniería, con el apoyo de la Misión de la Organización Internacional del Trabajo (OTI), del Centro de Productividad Industrial (hoy INTECAP), del Consejo Nacional de Planificación Económica, del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) y de la Cámara de Industria, hicieron posible que el Consejo Superior Universitario en el Acta No. 932, Punto Séptimo, del 24 de septiembre de 1966, resolviera la creación de la carrera de ingeniero mecánico industrial.

Posteriormente, el 8 de octubre del mismo año, el honorable Consejo Superior Universitario aprobó el plan de estudios de la carrera de ingeniería mecánica industrial.

Los estudios de Ingeniería Industrial se inician en la Facultad de Ingeniería en 1968. La ingeniería industrial surgió a raíz de que en nuestro medio la escuela no es ajena a los constantes cambios tecnológicos que exige el medio laboral; es el área profesional de la ingeniería que se encarga de planificar, diseñar, ejecutar (programar) y controlar los sistemas productivos integrados, éstos, por hombres, materiales y equipos, utilizando para ello los conocimientos especializados de las ciencias matemáticas, físicas, sociales, y administrativas, con principios y métodos de análisis y diseño de ingeniería.

La base material de la mayoría de empresas guatemaltecas es hoy un reto además de ser una sofisticada combinación de ingenios, destacando la gran interdependencia entre empresa e ingeniería, con el fin de satisfacer las necesidades del medio industrial nacional.

1.3 HISTORIA DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

El impulso que originó la mayoría de las actividades de investigación de operaciones fue la Segunda Guerra Mundial. De hecho, la expresión, investigación de operaciones (IO) se acuñó debido a la "investigación de operaciones (militares)" durante la guerra. Se organizaron grupos de matemáticos, economistas y otros científicos para analizar diversos problemas operativos militares. Estos grupos se formaron en Inglaterra y Estados Unidos; la Marina norteamericana empleó más de 70 analistas. Se resolvieron innumerables problemas, como en dónde ubicar las instalaciones de radar, la búsqueda de submarinos enemigos, la forma de sembrar desde el aire minas en los mares de Japón, cómo determinar el tamaño óptimo de flotillas navieras mercantes y de planear estrategias de maniobras para barcos bajo ataque enemigo.

Aunque el término investigación de operaciones no se generalizó hasta la Segunda Guerra Mundial, el enfoque científico de los problemas operativos se puede remontar a la obra de Taylor y Gantt. McCloskey y Trefethen señalan el trabajo de F.W. Lanchester y Thomas Edison durante la Primera Guerra Mundial como precursor de la investigación de operaciones. No obstante, los esfuerzos de la investigación de operaciones durante la guerra fueron en gran parte independientes de estas actividades precursoras y se basaban en nuevos conceptos y técnicas de matemáticas aplicadas.

Las aplicaciones de la investigación de operaciones durante la Segunda Guerra Mundial se caracterizaron por el trabajo en equipo sobre problemas operativos; los primeros intentos se efectuaron en Gran Bretaña. Siguiendo el ejemplo británico, Estados Unidos también adoptó el enfoque de equipo mixto (multidisciplinario). En ambos lados del Atlántico, los equipos de investigación de operaciones estaban integrados por matemáticos, expertos en estadísticas, físicos, ingenieros, biólogos y psicólogos.

El éxito de los trabajos de investigación de operaciones durante la guerra impulsó a las industrias de la posguerra en Inglaterra y Estados Unidos a tratar de aplicar un enfoque similar a sus problemas operativos y administrativos. Muchos de los aspectos que gente como Taylor y Gantt habían planteado se analizaron empleando procedimientos más cuantitativos y orientados hacia los sistemas que los que tradicionalmente se habían aplicado. George Dantzig fue figura clave en el desarrollo de la investigación de operaciones de la posguerra. Generalmente se le atribuye la creación de la programación lineal, una de las más valiosas y de uso más común de la investigación de operaciones. Con frecuencia, a Dantzig se le llama "el padre de la programación lineal". Además de ésta, los primeros desarrollos en investigación de operaciones fueron en áreas como la estadística del control de calidad, programación dinámica, análisis de líneas de espera y el control de inventarios.

Los avances recientes en investigación de operaciones, consisten en mejoras en estas áreas iniciales, así como la creación de nuevas técnicas analíticas como la programación geométrica, la programación en fracciones, la programación por objetivos y la simulación. Sin embargo, los avances en la metodología de la investigación de operaciones han dependido en gran parte de los avances en la ciencia de la computación y las computadoras. La mayoría de problemas que se atacan mediante técnicas de investigación de operaciones son de gran escala y para analizarlos hacen falta recursos de computación significativos.

1.4 ACTIVIDADES DE LA INGENIERIA INDUSTRIAL Y LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

1.4.1 Actividades Básicas.

Existe una amplia gama de actividades básicas de la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones, desde el diseño de sistemas de incentivos de pagos salariales hasta crear procedimientos para resolver problemas complejos de decisión administrativa; estas actividades son aplicables a diferentes organizaciones, incluyendo empresas manufactureras, bancos, hospitales, departamentos de bomberos e instalaciones militares. Este amplio campo es una de las razones principales de la popularidad de la ingeniería industrial e investigación de operaciones como disciplina de la ingeniería.

A continuación, se citan algunos ejemplos:

1. Determinar los procedimientos más eficientes que debe seguir un obrero para armar una bicicleta.
2. Diseñar la distribución de una oficina del seguro social, a fin de reducir al mínimo las distancias por recorrer.
3. Determinar el método para cortar el mayor número de patrones de camisa de una gran pieza de tela, con el fin de aprovecharla al máximo.
4. Determinar la localización del menor número de estaciones de bomberos que se necesitan para lograr un tiempo de respuesta no mayor de cinco minutos, cuando hay un incendio en cualquier parte de una ciudad.
5. Establecer estándares de tiempo para realizar varias tareas de producción como el colado de un monoblock o soldar dos placas terminales.

Estos proyectos se centran en actividades básicas o enfoques analíticos de ingeniería industrial o investigación de operaciones aplicables en cualquier contexto.

1.4.2 Recursos de la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones.

Es importante reconocer la diferencia entre la actividad básica de ingeniería industrial y la investigación de operaciones que se está efectuando, como los métodos de trabajo o el análisis de líneas de espera, y los recursos y conceptos matemáticos y estadísticos de apoyo que se emplean.

Otras herramientas estadísticas incluyen las siguientes: análisis de regresión, el análisis de varianza y análisis de cadenas de Markov. Por ejemplo, el análisis de regresión se usa en pronósticos, incentivos salariales y medición del trabajo. Otro conjunto de herramientas lo constituyen las técnicas de matemáticas aplicadas, que incluyen el cálculo clásico, el Álgebra matricial y el cálculo de variaciones.

Tal vez la herramienta de ingeniería industrial y de investigación de operaciones, de uso más generalizado, es el modelo. Los modelos se usan para representar el proceso o sistema físico que el analista de estas especialidades está investigando. Los modelos pueden ser de naturaleza puramente descriptiva o pueden incluir criterios normativos para la evaluación directa de diseños opcionales. En realidad, los modelos se usan en todas las actividades de la investigación de operaciones y de la ingeniería industrial. Ambas se apoyan en gran medida en el uso de modelos. Por ejemplo, en los métodos de trabajo, se usan mucho tablas y diagramas (modelos descriptivos) para representar la distribución de un lugar de trabajo y cómo se realiza una tarea. En la programación matemática, se utilizan modelos matemáticos normativos para representar y resolver los problemas de decisión, a que se enfrenta una persona o una organización.

S E C C I O N I I

HERRAMIENTAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL E INVESTIGACION
DE OPERACIONES EN AREAS TRADICIONALES DE APLICACION

CAPITULO 2

DISEÑO DE INSTALACIONES

2.1 SIGNIFICADO DEL DISEÑO DE INSTALACIONES

El diseño de instalaciones consiste en planear la distribución de instalaciones físicas como máquinas y edificios. Incluye la especificación de: 1) qué tipo de instalaciones se debe utilizar, 2) el número de cada tipo de instalaciones que se debe tener, y 3) la localización de cada instalación. Por lo tanto, el diseño de instalaciones puede plantear una amplia variedad de problemas de decisión.

Tradicionalmente, el diseño de instalaciones se ha considerado sólo como distribución de planta y ubicación de planta, sin embargo, su alcance va más allá del ámbito de la planta. El concepto de instalación incluye equipo de computación, ambulancias y estaciones de bomberos, del mismo modo que un taladro de columna o una planta. Por tanto, los problemas de diseño de instalaciones se pueden presentar en organizaciones de servicio y en el sector público tan fácilmente como en un ambiente industrial.

Además no se debe perder de vista que las herramientas de la ingeniería industrial tradicional, se usan para investigar y comprender el problema, así como para proporcionar conocimientos detallados para una buena solución. Las técnicas de investigación de operaciones también se usan para obtener soluciones potenciales, a veces como un enfoque opcional para el análisis tradicional y a veces como una herramienta complementaria.

2.2 COMO DETERMINAR EL NUMERO DE MAQUINAS

En el diseño de un sistema de fabricación, una de las primeras decisiones que se deben tomar es la elección de los tipos de procesos de producción básicos que se usarán, como en colado de metales o forja, y qué tipos de equipo y maquinaria se debe tener para implantar estos procesos. Generalmente, este tipo de toma de decisiones se denomina planeación de procesos. El resultado final esencial de la planeación de procesos es una hoja de ruta en que se lista cada paso en la producción de una parte determinada y el tipo de máquina que se usará en ese paso. Una importante decisión subsecuente que se debe tomar es la determinación de exactamente cuántos de cada uno de los tipos de máquinas especificados en la hoja de ruta se tendrán en la planta o taller. Esta decisión se denomina problema de necesidades de máquinas.

La decisión respecto al número de máquinas que se tendrá en un taller va más allá del cálculo del número necesario para satisfacer una necesidad de producción específica. Debido a los costos relativos, puede ser mejor no tener a mano el número necesario de máquinas, sino subcontratar en el exterior algunas de las necesidades de producción. O bien, puede ser conveniente usar un número menor de máquinas y trabajarlas sobre una base de tiempo extra con el fin de satisfacer estas necesidades. Además, en esta decisión se debe considerar la disponibilidad de recursos de producción, como mano de obra, espacio y fondos de inversión. Por ejemplo, puede ser que se necesiten cuatro taladros de columna automáticos y siete tornos para satisfacer las necesidades mensuales proyectadas para los productos. Sin embargo, estas máquinas pueden requerir más espacio físico en la planta que el que se puede tener o una aplicación, cuyo costo no se puede pagar. Por lo tanto, se deben considerar los arreglos alternativos disponibles, como subcontratar parte de las necesidades mensuales o trabajar tiempo extra.

La determinación del número de máquinas que se usarán en un taller también depende de la configuración de los procesos de fabricación que se usarán y de las características de las máquinas. Por ejemplo, en general, es cierto que se necesitan menos máquinas si el taller se organiza como un taller de planta con las máquinas similares agrupadas en centro de trabajo, que si se organiza como una línea de ensamble con una máquina en seguida de la otra. Además, la velocidad y la eficiencia de cada tipo de máquina son importantes para determinar si se necesitan más o menos máquinas.

El análisis de problemas de necesidades de máquinas ha sido una actividad de la ingeniería industrial básica desde la época de Fredrick Taylor. Por lo tanto, se desarrolló y usó durante un tiempo un enfoque clásico o tradicional para este problema. Recientemente se intentó aplicar herramientas de la investigación de operaciones a este mismo problema. Específicamente se apoyó el uso de simulación, análisis estadístico y programación matemática.

2.2.1 Enfoque de la Ingeniería Industrial Tradicional.

Los métodos más tradicionales para determinar cuántas máquinas se deben tener a mano, consisten en cálculos mediante un modelo descriptivo que abarca las necesidades para los productos terminados en relación con diversos factores operativos para determinado centro de trabajo.

El enfoque tradicional para planear las necesidades de máquinas es un enfoque directo fácil de usar y explicar. Sin embargo, tiene desventajas, por ejemplo, no representan o modelan muy bien las realidades implícitas en la decisión básica. Específicamente, no hay una consideración explícita de factores como las necesidades de producción dinámica, la

naturaleza probabilística de factores como la pérdida por desperdicio y tasa de producción de máquina, o limitaciones sobre recursos de producción como espacio de piso. Mediante herramientas de investigación de operaciones, usualmente se hacen análisis más realistas para un problema de necesidades de máquina.

2.2.2 Enfoque de la investigación de operaciones.

El problema de necesidades de máquinas se puede tratar como un problema de programación matemática, un análisis de simulación o un problema de líneas de espera que dependen del supuesto hecho respecto al proceso de producción de que se trate.

El criterio básico subyacente en el modelo de programación lineal que se describe, consiste en que las máquinas en cada centro de trabajo están en competencia por el uso de recursos de producción escasos, como espacio de piso, capital y horas extras. Es decir, cada máquina adicional agregada a un centro de trabajo significa que hay menos espacio de piso, menos capital y menos horas extras disponibles para sostener más máquinas en los otros centros. La consideración explícita de esta competencia entre centros de trabajo, requiere que se use un enfoque de modelado normativo en vez de un enfoque descriptivo como el que se usa en el análisis tradicional.

Existen otras importantes diferencias entre el enfoque tradicional y el uso de un modelo de programación matemática. El enfoque de programación matemática permite que se encuentren los resultados finales, (es decir, el número de máquinas deseado en cada centro) directamente como un número entero, en vez de requerir un redondeo subjetivo de un resultado fraccionario. Además, el modelo de programación matemática que se tiene permite modelar los aspectos dinámicos del problema. Específicamente, el modelo considera fluctuaciones de un periodo al siguiente en el valor esperado de las necesidades de producción final, parámetros de costo y recursos de producción disponibles. Por tanto, la solución para el problema de necesidades de máquinas en general es un programa de periodo por periodo de cuántas máquinas tener en cada centro. Por ejemplo, un centro puede comenzar con cinco máquinas, luego, al final del segundo mes o periodo, agregar dos o más máquinas, y al final del cuarto, vender una máquina para que queden seis.

El modelo de programación matemática se basa en la siguiente terminología:

- x_{it} = número de máquinas disponibles en el centro de trabajo i al principio y durante el período t ($i = 1, 2, \dots, N$; $t = 1, 2, \dots, T$).
- M_{it} = número teórico de máquinas necesarias en el centro de trabajo i en el período t para satisfacer exactamente las necesidades de producción final en ese período.
- f_{it} = primer costo de una máquina en el centro i cuando se origina al principio del período t .
- s_{it} = valor de recuperación neto promedio de una máquina en el centro i cuando se vende al principio del período t .
- m_{it} = gasto anual de operación y mantenimiento de una máquina en el centro i durante el período t .
- c_{it}^* = costo por máquina por período de una máquina sobrante del tipo i durante el período t .
- c_{it}^{\sim} = costo de tiempo extra por máquina por período por mantener menos máquinas en el centro i durante el período t , que las convenientes teóricamente.
- B_t = fondos presupuestados para la obtención de nuevo equipo durante el período t .
- b_i = número de horas consumidas por una máquina en el centro i cuando opera sobre una base de tiempo extra por un período.
- L_t = pies cuadrados de espacio de piso disponible en el período t para colocación de maquinaria.
- a_i = pies cuadrados necesarios para situar una máquina en el centro de trabajo i .
- U_{it} = horas disponibles en el período t para máquinas en el centro i para trabajar en tiempo extra.

Usando la notación anterior, el modelo de programación matemática se puede escribir como

$$\text{Max } X_0 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (f_{it} |x_{it} - x_{i,t-1}|^+ - s_{it} |x_{it} - x_{i,t-1}|^- + m_{it}x_{it} + c_{it}^+ |x_{it} - M_{it}|^+ + c_{it}^- |x_{it} - M_{it}|^-)$$

Sujeto A:

- 1) El presupuesto del taller no se debe exceder:

$$\sum_{i=1}^N (f_{it} |x_{it} - x_{i,t-1}|^+ - s_{it} |x_{it} - x_{i,t-1}|^-) \leq B_t \quad \text{Para toda } t$$

- 2) El espacio de piso disponible del taller no debe exceder:

$$\sum_{i=1}^N a_i x_{it} \leq L_t \quad \text{Para toda } t$$

- 3) El tiempo extra disponible no debe exceder:

$$b_i |x_{it} - M_{it}|^- \leq U_{it} \quad \text{Para todos los } i \text{ y todo } t$$

- 4) El número de máquinas que se desocupan en un período no debe ser mayor, que el número de máquinas disponibles al final del período previo:

$$|x_{it} - x_{i,t-1}|^- \leq x_{i,t-1} \quad \text{Para todos los } i \text{ y todo } t$$

- 5) El número de máquinas no debe ser negativo:

$$x_{it} \geq 0 \quad \text{Para todos los } i \text{ y todo } t$$

2.3 DISEÑO DE LA DISTRIBUCION DE UNA PLANTA

La distribución de una planta es el proceso de determinar en dónde se localizará cada actividad o pieza de equipo dentro de una estructura. Incluye el diseño o la especificación de la configuración interna de la estructura. El resultado final de este proceso es un plano de distribución, que esencialmente es un plano de macronivel del interior de la estructura. No existe un formato estándar para el dibujo de los planos.

La gama de problemas de distribución de una instalación es muy amplia. La siguiente es una lista de ejemplos típicos de problemas de distribución.

- 1.- Ubicación de toda la maquinaria y áreas de servicios auxiliares como depósitos de herramienta en una planta que fabrica cable de alambre.
- 2.- División del interior de un centro de seguridad social en oficinas y áreas de trabajo.
- 3.- Asignación de espacio de piso en un almacén para los productos que se guardarán allí.
- 4.- Determinación de proporciones y medida del espacio que se usará en un barco para diversas actividades, como alojamiento para tripulación y una galería.
- 5.- Diseño de la longitud y forma de una línea de ensamble para televisores, así como la especificación de ubicación de áreas y equipo de trabajo a lo largo de la línea.

Sin importar su planteamiento o naturaleza, un problema de distribución de instalaciones continúa siendo un problema de decisión. Establecidas o no explícitamente, hay una función objetivo, variables de decisión y restricciones o restricciones sobre esas variables de decisión.

La solución del problema de distribución, es decir, los planos mismos, establece el patrón de circulación que habrá dentro de la instalación. Según sea la aplicación, esta circulación puede referirse a productos en proceso de fabricación, trabajo de papeleo, equipo de manejo de material, personal o alguna combinación de éstos. Las buenas distribuciones tienden a tener patrones de flujo eficientes y cortos, sin muchos puntos de congestión. Por lo general, la colocación conjunta de equipo o actividades con relativamente alto grado de interacción son buenos patrones. Y los patrones de flujo eficientes tienden a reducir tiempo y costos de manejo de material, a incrementar la seguridad y a reducir el tiempo de viaje del personal y el trabajo de papeleo.

Por tanto, el desarrollo y uso de una distribución de artículos pueden producir un significativo ahorro de dinero para una organización.

Por lo general, se usan tres categorías o tipos básicos de distribuciones: proceso, producto y posición fija. Cada uno de éstos representa un enfoque diferente o criterio de organización básica del equipo y las actividades que se colocarán en un plano. En una distribución de proceso, toda la maquinaria y actividades similares o que tienen la misma función se agrupan juntas y se sitúan en la misma área general (usualmente, esto es el centro de trabajo). El ejemplo más común de este tipo de distribución es el taller de trabajo, en el cual todos los tornos se sitúan en la misma área, los taladros de columna, en otra parte del taller y todo el ensamble se efectúa en alguna otra área, y así sucesivamente.

El segundo tipo de distribución (del producto) deriva su nombre del hecho de que en ésta el equipo y actividades se sitúan de acuerdo con su uso en el desarrollo o fabricación del producto. Si el primer paso en la fabricación de una parte es cortar la materia prima al tamaño en una sierra de banda, entonces ésta se sitúa en el punto del taller donde comienza el procesamiento de la parte. El equipo necesario en el segundo paso del proceso u operación se sitúa a un lado de la sierra de banda. Una línea de ensamble es un ejemplo común de este tipo de distribución.

Un importante aspecto que se debe tener presente es que la posición relativa del equipo y las actividades es fija y no es una variable de decisión como en el caso de una distribución de proceso. La manera en que el producto se fabricará, determina qué equipo se debe situar en diversos lugares a lo largo de la línea. Por lo tanto, el problema básico de distribución es la forma de la línea: recta, en forma de "L", circular o tal vez forma de "S".

En la tercera categoría de distribución (posición fija), el producto permanece estacionado en una posición fija, y la maquinaria o actividades de trabajo se mueven hacia el producto según se requiera. Un ejemplo sería un astillero: el cuerpo del barco permanece en un lugar mientras se construye y todos los materiales y equipo de procesamiento se llevan al barco según se necesiten.

En el desarrollo de una distribución real para usarse en una organización específica, una de las decisiones que se deben tomar es la elección de la distribución básica. Si se decide una en función del producto, entonces lo más importante que queda es la forma de la línea de producción. Si se decide por una distribución en función del proceso, entonces habrá que determinar en dónde se ubicarán las máquinas individuales o centros de trabajo en el taller, y la

asignación de espacio de piso del taller para cada máquina, así como circulaciones entre pasillos, servicios sanitarios, etc.

2.3.1 Enfoque básico.

Igual que el análisis de cualquier otro problema de decisión, la determinación de la distribución deseada para una organización incluye dos pasos fundamentales: generar soluciones opcionales y evaluar cada solución. Existen esquemas manuales tradicionales para generar y evaluar distribuciones, así como métodos computarizados que emplean modelos matemáticos y procedimientos de búsqueda. No obstante, sin importar qué enfoque de distribución se use, se necesita recopilar y analizar información fundamental acerca de las necesidades del problema de distribución. Esto incluye la siguiente información:

1. Alcance del problema de distribución.
2. Instalaciones internas que se situarán en la distribución.
3. Necesidades de espacio para cada instalación o actividad que se va a situar.
4. Interrelaciones entre instalaciones o actividades que se van a situar.

2.3.2 Métodos de distribución manuales.

El enfoque tradicional, para convertir datos de acceso de distribución básica para su comparación, es desarrollar modelos de plantilla. Una plantilla es un modelo a escala de una máquina u otra instalación.

Un modelo de plantilla se puede desarrollar cortando simplemente o construyendo una plantilla para representar a cada máquina, operador, servicio sanitario, etc., y colocándolas sobre un diagrama de la cobertura del edificio. El resultado es una distribución de prueba. Puede ser buena o deficiente, puede ser práctica o violar algunas restricciones como la de no situar el taller de máquinas cerca del departamento de dibujo. No obstante, es una distribución.

Usualmente, la colocación de la plantilla sobre la planta del edificio se basa en un análisis de información contenida en diagramas como el "desde-hacia" o el REL. El REL se puede convertir en un diagrama de relaciones de actividades. Debe notarse que en éste la densidad de las líneas entre los diversos bloques (que representan actividades a situar) proporciona al analista una guía general para situar las actividades. Es obvio que aquellos bloques que tienen la más importante calificación de cercanía mutua (representada por la densidad de la línea) se deben situar cercanos entre sí. Cuando se va a usar información cuantitativa, como el número de viajes entre máquinas por hora, en el análisis en vez de la calificación de cercanía

relativa, las líneas entre los bloques en el diagrama REL se basarían en los números de una tabla "desde-hacia".

El diagrama REL puede ser aún más útil si cada bloque se modifica para expresar el tamaño relativo y forma de la máquina o actividad representada por el bloque. El resultado es un diagrama de relación de espacio. Este diagrama es la herramienta básica con que trabaja el analista para obtener una distribución. Los bloques (o las plantillas asociadas) se mueven para encontrar posiciones para cada instalación interna que parezcan buenas y constituyan una distribución posible.

2.3.3 Métodos de distribución computarizados.

Existen programas de computadora como alternativas para el enfoque del "tanteo con plantillas". Estos programas son esencialmente procedimientos de búsqueda para resolver modelos matemáticos de problemas de distribución. Sin embargo, en ellos se usan los mismos dos pasos básicos, que en los métodos manuales de tanteo con plantillas -generar soluciones opcionales (distribuciones) y evaluar cada una para encontrar la mejor posible-; aunque los métodos manuales se apoyan en evaluaciones subjetivas y modelos gráficos, los métodos computarizados o de investigación de operaciones se apoyan en evaluaciones cuantitativas y modelos matemáticos. Aunque ambos enfoques tienen pros y contras, los métodos computarizados tienen una importante ventaja por su capacidad para generar y comparar muchas más distribuciones opcionales que con el análisis manual.

Existen algunos medios para formular y modelar el problema de distribución. Por ello, se han desarrollado otros programas de computación opcionales para CRAFT. Estos son CORELAP, ALDEP, PLANET, LSP, LAYOPT y RUGR.

Los algoritmos que se usan en estos programas (y por lo tanto, los programas mismos) se pueden clasificar en términos del tipo de procedimiento de búsqueda que usan para resolver el problema de distribución. Por lo general, se usan dos enfoques opcionales: un enfoque de construcción o uno de mejoramiento. Un método de distribución en que se usa un enfoque de construcción se inicia con una planta de piso vacía del edificio, y se sitúan las máquinas o actividades una por una en la planta hasta incluir todas. Los métodos de construcción, de los que CORELAP y ALDEP son ejemplos, difieren en la manera de seleccionar la siguiente máquina una vez seleccionada. Los programas de distribución - de mejoramiento se inician con una distribución completa - es decir, con todas las máquinas o actividades situadas en algún lugar de la planta del edificio - y generan distribuciones opcionales usando como base esta solución de primer tanteo. Esto se hace intercambiando máquinas entre sus posiciones asignadas, con el fin de mejorar la conveniencia de la

distribución. Los programas de mejoramiento difieren en cuanto a la manera en que se eligen las máquinas para intercambiarlas. En los métodos de mejoramiento, un ejemplo claro sería el CRAFT, que empieza con una solución preespecificada para modelar y tiene como propósito reducir el valor de la función objetivo X_0 cambiando las asignaciones de cero o uno hechas para las variables X_{ik} en tal modo que se logre un intercambio entre la ubicación de dos o más máquinas.

Otra manera de clasificar métodos de distribución computarizados en términos del tipo de datos usados para evaluar distribuciones opcionales. Algunos métodos, como CRAFT, usan datos cuantitativos, como costos de manejo de materiales como medida de la función objetivo, y otros, como CORELAP y ALDEP, usan planteamientos cualitativos como las clasificaciones del diagrama REL. Generalmente, los planteamientos cualitativos se convierten en valores numéricos intermedios mediante el uso de algún tipo de escala de calificación. Por ejemplo, ALDEP convierte internamente la clasificación A, o "absolutamente necesaria", de la importancia de localizar dos máquinas cercanas entre sí, como en el diagrama REL.

Por lo general, los enfoques de construcción requieren que el analista obtenga como acceso el diagrama REL, junto con información como necesidades de longitud, ancho y área para el edificio, el número de máquinas o actividades que se incluirán en la distribución aceptable.

Una característica que incorporan algunos programas de distribución computarizados es el uso de la interacción de tiempo real entre quien toma las decisiones, y la computadora. Un usuario, sentado ante una terminal de computadora, hace cambios directamente en la distribución de prueba generada por el programa de distribución básico. Estos cambios pueden constituir, por parte del usuario, en una mejora del puntaje de la distribución (por ejemplo, la evaluación de la distribución en términos de los datos del diagrama REL), o para mejorar la apariencia de la forma de un centro de trabajo.

2.4 UBICACION DE LAS INSTALACIONES

Otro problema que, por lo general, se clasifica como parte del diseño de instalaciones es el de determinar dónde ubicar la instalación. Los problemas de distribución que se trataron anteriormente son problemas de ubicación de instalaciones; son éstas las máquinas o centros de trabajo que se van a ubicar. Sin embargo, en el problema de distribución, también existe la decisión de asignar espacio de piso interior para cada máquina o centro, y diseñar la

configuración del área asignada a cada centro.

La finalidad de este estudio es ubicar estructuras, como una nueva planta o como un nuevo almacén, no obstante se pueden mencionar, aunque de antemano, la gama es muy amplia entre otros, están los siguientes:

1. Elegir la ciudad en la cual ubicar una nueva oficina regional de ventas.
2. Elegir el área de los terrenos de la planta existente para la flotilla centralizada de vehículos de manejo de materiales de la empresa.
3. Seleccionar sitios específicos de construcción dentro de la ciudad para construir cuatro nuevas estaciones de bomberos.
4. Determinar dónde localizar cada uno de los nuevos 45 recipientes de basura para uso público.

2.4.1 Clasificación de los problemas de ubicación de las instalaciones.

Como se puede ver, una amplia variedad de temas de decisión son esencialmente problemas de ubicación de instalaciones. No obstante, todos los problemas de este tipo tienen ciertas características que se pueden usar como base para distinguir un tipo de problema que otro.

Una forma de clasificar los problemas de localización es en términos de la disponibilidad de sitios opcionales que se consideren como candidatos para ubicar las nuevas instalaciones. Si hay una lista de sitios específicos en consideración, el problema se denomina problema de espacio discreto. Por otro lado, si las nuevas instalaciones se pueden ubicar en cualquier parte dentro de un área, el problema se clasifica como uno de espacio continuo.

2.4.2 Ubicación de la planta.

Otro modo más de clasificar problemas de ubicación es en términos del tipo de la nueva instalación que se va a ubicar y el ambiente del problema en general. Por ejemplo, si se tratara de ubicar o reubicar un almacén al mayoreo o al menudeo, se estaría tratando de un problema de ubicación de almacén. Si en vez de ello la instalación fuera una estación de bomberos o un centro de ambulancias, se estaría analizando un problema de ubicación de instalaciones de emergencia. Una de las más importantes clases de problemas de ubicación es el problema de ubicación de planta en que la nueva instalación pertenece al ramo industrial.

En un problema de ubicación de planta, se está tratando de determinar el mejor sitio para una o más plantas que se agregarán al sistema existente de fabricación (puede no haber plantas existentes). Además, se podría estar tratando simultáneamente de determinar a qué clientes proveer y desde cuáles plantas. Las nuevas plantas recibirán materias primas de proveedores lejanos y enviarán sus productos terminados a los clientes.

Generalmente, el problema de ubicación de planta se resuelve por un procedimiento de dos pasos. Primero, se selecciona el área general, como un campo o una ciudad, de entre varias áreas alternativas, y segundo, se elige una parte específica de terreno o domicilio dentro del área seleccionada. Aunque, por lo general, estos dos pasos se llevan a cabo en análisis subsecuentes, a veces se tratan simultáneamente.

Hay muchos factores o criterios que se consideran en la selección del área general para ubicar una planta. Algunos son de naturaleza cuantitativa, mientras que otros son cualitativos. Los criterios cuantitativos para evaluar áreas de alternativas incluyen costos de transporte para traer la materia prima y entregar productos terminados a los clientes, impuestos sobre ingresos y propiedades en el área, costo de servicios públicos en el área, costos de construcción y del terreno y los costos laborales generales en el área. En general los factores subjetivos o cualitativos incluyen la actitud laboral y gubernamental en el área, la calidad del estándar de vida en el área representada por el número de iglesias y escuelas, el clima del área y la disponibilidad de las instalaciones de transporte como aeropuertos y ferrocarriles. Estos factores subjetivos son importantes por derecho propio, pero también pueden indicar los valores futuros que tendrán muchos de los factores cuantitativos.

La manera tradicional de analizar los criterios cuantitativos y cualitativos es mediante una comparación subjetiva de los valores de estos criterios que estaban asociados con cada una de un conjunto de áreas de ubicación opcionales. Por lo general, se elabora una tabla y se revisa subjetivamente. El área que parece ser la mejor en conjunto es la que se selecciona para la ubicación de la planta.

No obstante, a veces se usan técnicas para convertir la evaluación y comparación de todos los criterios a bases cuantitativas. Por ejemplo, el mismo tipo de esquema de sistema de puntos que se usó en la evaluación del trabajo, se puede usar para establecer el valor relativo de sitios de ubicación opcionales. Los criterios de ubicación, como la disponibilidad de mano de obra, serían sinónimos de factores del trabajo de la evaluación del trabajo, y se subdividirían en cuatro o cinco grados. Luego se asignan puntos de jerarquización a cada grado de cada factor de ubicación. Por

ejemplo, el factor "actitudes comunitarias del área", se podría dividir en los siguientes grados:

1. Muy negativa;
2. Negativa;
3. Cooperativa y
4. Muy cooperativa.

En casos en que los criterios de costo parecen más importantes que los factores subjetivos, un enfoque que se usa con frecuencia consiste en formular un modelo de costo normativo para obtener los dos o tres mejores sitios de menor costo, y luego elegir entre estas candidaturas con base en una comparación subjetiva de los factores cualitativos secundarios. Usualmente, el modelo de costo es un problema de programación matemática.

2.4.3 Modelos de ubicación.

El tipo de modelo que se use en el análisis depende de las características del problema de ubicación, como son el número de plantas nuevas que se instalarán, el tipo de los factores de costo que se considerarán y la existencia de restricciones como son las regiones geográficas inapropiadas.

Como primera ilustración, considérese el problema de ubicación que se presenta comúnmente, en que se trata de encontrar el sitio para una sola nueva planta en que se encuentra el mínimo costo de transporte en el embarque de artículos desde la planta a un conjunto de clientes. Cuando es verdad que:

1. El costo de transporte entre la planta y los clientes es directamente proporcional a la distancia entre ellos.
2. La distancia está adecuadamente representada por un modelo de distancia rectilínea.
3. La planta que se va a instalar se puede situar en cualquier parte, entonces el modelo de optimización que se puede usar es:

$$\text{Mín } X_o = \sum_{i=1}^n C_i W_i (|X - a_i| + |Y - b_i|) \quad (2.1)$$

x, y i=1

donde X y Y son las coordenadas cartesianas desconocidas de la posición de la nueva planta, a_i y b_i son las coordenadas de la posición del iésimo cliente, C_i es el costo de trasladar una unidad del producto por una unidad de distancia entre la planta y el iésimo cliente y W_i es el número pronosticado de viajes necesarios entre la planta y el cliente i. Puede verse que la métrica de la distancia rectilínea empleada en el modelo implica que el movimiento

entre dos puntos está adecuadamente representado por la suma de movimientos horizontales y verticales, en comparación, por ejemplo, de la distancia en la línea recta entre los dos puntos.

El modelo (2.1) constituye un modelo de optimización no lineal irrestricto. Se puede resolver para la mejor ubicación de la nueva planta (es decir, para valores óptimos de X y Y) por los métodos descritos. También, se puede mostrar que la solución (x^* , y y^*) es el punto coordinado que tiene las siguientes propiedades:

1. x^* es el mismo valor que a_i para algún cliente i , e y^* es el mismo valor que b_i para algún cliente i' , donde i' no es necesariamente el mismo que i .
2. x^* y y^* son localizaciones de suma mediana; es decir, no más de la mitad del movimiento de artículos entre la planta y todos los clientes está a la izquierda de x^* , mientras que no más de la mitad del movimiento está a la derecha de x^* ; de igual manera, no más de la mitad del movimiento está abajo de y^* , mientras que no más de la mitad está arriba de y^* .

Modelo rectilíneo.

Como ilustración de este modelo, en ubicación de planta, se puede considerar la decisión que enfrenta un fabricante de tornillos y tuercas en una gran ciudad industrial. La empresa decidió construir una nueva planta en la ciudad con el fin de obtener las ventas de cuatro importantes clientes que también estaban en la ciudad. La empresa decidió situar la planta en el lugar más céntrico posible con respecto a los cuatro clientes. Consideraron que esto daría la ubicación que minimizaría el costo de envío y, al mismo tiempo, se podría usar como recurso de mercadotecnia para obtener el nuevo negocio.

Después de tomar en cuenta la participación potencial del negocio total de cada cliente, que la compañía podría esperar después de construir la nueva planta, se pronosticó que las ventas anuales para los cuatro clientes serían como sigue: cliente 1, \$55,000 (o aproximadamente 100 entregas por año); cliente 2, \$40,000 (ó 70 entregas); cliente 3, \$60,000 (ó 110 entregas); y cliente 4, \$80,000 (ó 145 entregas). Se formuló un modelo según los lineamientos de la ecuación (2.1) a fin de derivar un sitio de ubicación ideal para la nueva planta. En la formulación, se supuso que el costo unitario de entregas es el mismo para todos los clientes y, por lo tanto, se puede ignorar, y es proporcional a la distancia recorrida por la calle al hacer las entregas. Se eligió un modelo de distancia rectilínea como la manera más apropiada de representar el viaje entre planta y cliente debido a la perpendicularidad de las calles de la ciudad. Para obtener

las coordenadas de posición necesarias (at, bt) para cada uno de los cuatro clientes, se usó un mapa de la ciudad con una cuadrícula x-y colocada sobre éste. Al resolver el problema, se pudo establecer que los clientes se localizarían en (8,26), (11,15) (25,18) y (30,45), respectivamente. El modelo que se usó es el siguiente:

$$\text{Min } X_{o,x,y} = 100(x-8) + 100(y-26) + 70(x-11) + 70(y-15) + 110(x-25) + 110(y-18) + 145(x-30) + 145(y-45) \quad (2.2)$$

La solución para el modelo se obtuvo al aplicar las condiciones de su media. En la siguiente tabla, se resumen los cálculos para encontrar x^* .

Cliente	Coordenada x	Peso	Peso acumulativo	Comparación con la suma media
1	8	100	100	$100 < 425/2 = 212.5$
2	11	70	170	$170 < 212.5$
3	25	110	280	$280 < 212.5$
4	30	145	425	$425 < 212.5$

Como la suma media de los pesos (entregas, en este caso) fue excedida por los pesos acumulativos en el cliente 3, entonces $x^* = a_3 = 25$ es la solución de suma media. Es decir, $x = a_3$ puesto que no más de la mitad de las entregas se espera que queden a la izquierda de $a_3 = 25$ y mitad a la derecha de a_3 . De modo similar, $y^* = a_2 = 15$, como se indica en la siguiente tabulación:

Cliente	Coordenada y	Peso	Peso acumulativo
2	15	70	70
3	18	110	$180 < 212.5$
1	26	100	$280 > 212.5$
4	45	145	425

El modelo de distancia rectilínea (2.1) también se puede formular como un problema de programación lineal. Esto requiere el uso de variables auxiliares extra, de modo que las funciones de valor absoluto no lineal se puedan transformar en funciones lineales. Específicamente, considérese lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 r_i &= (x - a_i)^+ = x - a_i && \text{si } x \geq a_i \\
 &= 0 && \text{si } x \leq a_i \\
 s_i &= (x - a_i)^- = y - b_i && \text{si } y \geq b_i \\
 &= 0 && \text{si } y \leq b_i \\
 u_i &= (y - b_i)^+ = y - b_i && \text{si } y \geq b_i \\
 &= 0 && \text{si } y \leq b_i \\
 v_i &= (y - b_i)^- = 0 && \text{si } y \geq b_i \\
 &= b_i - y && \text{si } y \leq b_i
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Nótese que estas variables conducen a:

$$\begin{aligned}
 |x - a_i| &= |x - a_i|^+ + |x - a_i|^- = r_i + s_i \\
 |y - b_i| &= |y - b_i|^+ + |y - b_i|^- = u_i + v_i
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Verificando las condiciones se puede volver a plantear el modelo como:

$$\text{Mín } X_0 = \sum_i C_i W_i (r_i + s_i + u_i + v_i) \tag{2.5}$$

x, y, r_i, s_i, u_i, v_i

- S.T.:
- 1) $x - r_i + s_i = a_i$ para todas las i
 - 2) $y - u_i + v_i = b_i$ para todas las i
 - 3) $r_i s_i = 0$ para todas las i
 - 4) $u_i v_i = 0$ para todas las i
 - 5) $x, y, r_i, s_i, u_i, v_i > 0$ para todas las i

Nótese que el modelo anterior (2.5) sería un problema de programación lineal, si no estuvieran presentes las restricciones no lineales (3) y (4). Cuando cambian, se pueden eliminar del modelo porque se cumplen automáticamente por cualquier solución para el problema reducido. Además, nótese que el modelo (2.5) se puede dividir en dos problemas de programación lineal separados, uno que incluye las variables de decisión x , y y s_i (siendo esto el problema de coordenada x), el otro comprendiendo y , u_i y v_i (este es, el problema de coordenada y).

Un segundo tipo de modelo de programación matemática que se usa frecuentemente en el análisis de ubicación de planta es el modelo de "distancia euclídeana" de una sola instalación, es el también denominado modelo de "Steiner-Weber". Es similar al modelo (2.3), excepto que se usa una métrica de distancia de línea recta en vez de una métrica rectilínea. El modelo es;

$$\text{Mín } X_0 = \sum_i C_i W_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \tag{2.6}$$

x, y

Se observa que a diferencia del modelo de distancia rectilínea, el problema (2.6) no es separable en problemas x y y . Además la solución de (2.6) no se obtiene fácilmente.

El enfoque básico utilizado para resolver el (2.6) es tratarlo como un problema de optimización irrestricta. Las condiciones necesarias para (2.6) son:

$$\frac{\delta x_0}{\delta x} = 0 = \sum_i C_i W_i (x - a_i) \frac{1}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}} \quad (2.7)$$

y

$$\frac{\delta x_0}{\delta y} = 0 = \sum_i C_i W_i (y - b_i) \frac{1}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}} \quad (2.8)$$

La ecuación (2.7) se puede volver a plantear como

De igual manera, la ecuación (2.8) se puede expresar como

$$x = \frac{\sum_i a_i g_i(x, y)}{\sum_i g_i(x, y)} \quad (2.9)$$

donde

$$y = \frac{\sum_i b_i g_i(x, y)}{\sum_i g_i(x, y)} \quad (2.10)$$

Las ecuaciones (2.9) y (2.10) constituyen las condiciones necesarias que se deben resolver para obtener la ubicación óptima (x^*, y^*) . Es decir, se deben resolver las dos ecuaciones simultáneas no lineales (2.9) y (2.10) para (x^*, y^*) . Mientras se defina $g_i(x, y)$, se puede obtener una solución mediante el siguiente algoritmo:

Paso 1. Elegir una solución inicial por tanteo, x^0 y y^0 . (La solución de suma media se puede usar para este punto inicial).

Paso 2. Encontrar la siguiente solución por tanteo, x^k y y^k , de las siguientes ecuaciones;

$$x^{(k)} = \frac{\sum_i a_i g_i(x^{(k-1)}, y^{(k-1)})}{\sum_i g_i(x^{(k-1)}, y^{(k-1)})}$$

$$y^{(k)} = \frac{\sum_i b_i g_i(x^{(k-1)}, y^{(k-1)})}{\sum_i g_i(x^{(k-1)}, y^{(k-1)})}$$

Paso 3. Si $x^{(k)} = x^{(k-1)}$ y $y^{(k)} = y^{(k-1)}$, detenerse; la ubicación es $x^* = x^{(k)}$ y $y^* = y^{(k)}$. Si no, regresar al paso 2.

Se debe notar que el paso 2 no se puede ejecutar siempre que $x^{(k-1)} = a_1$ y simultáneamente $y^{(k-1)} = b_1$. Esto implica que se ha seleccionado una solución por tanteo que es la ubicación de uno de los clientes. Esta selección plantea condiciones necesarias indefinidas; por lo tanto, la ubicación óptima de la nueva instalación nunca puede ser el sitio de un cliente existente.

Un método opcional para resolver el problema de distancia euclídeana es usar un modelo análogo del problema en vez del modelo matemático (2.6). Específicamente se puede usar una mesa de ubicación para encontrar la ubicación óptima (x^*, y^*) . Si la mesa estuviera libre de fricción, la solución obtenida sería idéntica a la encontrada al resolver la ecuación (2.6). Aunque la solución del modelo matemático tiene ciertas ventajas, el uso de la mesa proporciona al analista una metodología fácil de comprender y de explicar a la gerencia.

CAPITULO 3

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

3.1 SIGNIFICADO DE LA PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

La planeación y el control de la producción (P&CP) constituye el proceso de determinar la manera específica en que operará una organización para la producción de artículos o la presentación de servicios. Incluye el establecimiento de políticas y estrategias para regir el nivel y la sincronización de la producción, así como la determinación de las instalaciones que se usarán en las diversas operaciones de producción. Por ejemplo, un problema de P&CP es la selección de la combinación específica de productos que se procesarán el próximo mes en una fábrica de pinturas, al igual que la elección del tamaño exacto de partidas o lotes de cada tipo de pintura que se producirán cuando se haga ese tipo de pintura el próximo mes.

La gama de las decisiones que forman parte de la planeación y el control de producción es muy amplia. Va desde un macronivel que incluye las capacidades de producción y horizontes a largo plazo hasta un micronivel que abarca piezas específicas de equipo y operaciones inmediatas. El aspecto de la combinación de productos es un ejemplo de una decisión de P&CP a nivel macro, como lo es la elección de un nivel específico de producción que se debe lograr en una planta cada uno de los siguientes doce meses (regularización de la producción). Ejemplos de decisiones a micronivel son la selección de la asignación diaria de trabajos a máquinas (programación), la elección del número de unidades por procesar en una estación de trabajo específica una vez preparado el equipo (planeación del tamaño de lote), y la determinación del índice de producción deseado de cada estación de trabajo en una línea de ensamble para lograr un flujo continuo (balance de línea). Otros ejemplos de decisiones y actividades son apresurar los órdenes de clientes atrasados en una planta, establecer políticas respecto a la cantidad y el tiempo de reorden de material inventariado (control de inventario), vigilar el estado actual de los trabajos de producción, establecer políticas para probar y controlar la calidad de las operaciones de producción (control de calidad) y predecir las necesidades o demandas de producción (pronósticos).

Si se considera la estructura operativa de una empresa específica desde el punto de vista de las actividades de planeación y control de producción.

Las decisiones de planeación y control de la producción se plantean tanto en organizaciones de servicio como de

fabricación. Los bancos, los hospitales, los gobiernos locales y las organizaciones militares tienen que tomar decisiones acerca de la combinación y los tiempos de servicios que proporcionarán, y también tienen que vigilar y controlar la calidad de estos servicios. Por ejemplo, un departamento local de bomberos tiene que reconfirmar periódicamente el número de personal asignado a diversos trabajos como inspección de edificios e investigación de incendios intencionales. Esta es una decisión de P&CP similar a la de reconfirmación periódica hecha por un fabricante de automóviles de la capacidad deseada de una estación de trabajo de pintura o ensamble. Otros ejemplos de problemas de P&CP en organizaciones de servicio son la programación de policías a vigilancia, el control de calidad del cuidado en un hospital y el pronóstico de necesidades de flujo de efectivo en un banco.

Aunque la especificidad del problema puede ser distinta, las mismas técnicas que se usan para tomar decisiones de P&CP en el sector industrial también se aplican para analizar problema de P&CP en el sector de servicios. Estas técnicas incluyen muchas de las herramientas de investigación de operaciones, como son líneas de espera, programación lineal y simulación, así como las herramientas de la ingeniería industrial tradicional, como los diagramas de flujo del proceso y los de Gantt. La principal diferencia en la aplicación de estas técnicas es que en el sector industrial, la salida o producción se mide en unidades producidas, mientras que en el sector de servicios se miden respecto al número de personas atendidas por hora.

3.2 PRONOSTICOS

La mayoría de los problemas de la planeación y el control de la producción implican la demanda de operaciones e instalaciones. Según el problema, la demanda se puede definir como las ventas semanales de un producto, las necesidades por hora de insumos de material en la siguiente estación de trabajo en una línea de ensamble, o el número mensual de crímenes en ciertas áreas de la ciudad. Como la P&CP implica la toma de decisiones ahora respecto a operaciones futuras, la fuerza motora en el proceso de decisión es la demanda futura y no la demanda actual basada en operaciones pasadas. Es decir, por su naturaleza la planeación de producción implica hacer planes para operaciones futuras y, por tanto, requiere predicciones de la demanda futura para estas operaciones.

El pronóstico es el proceso de desarrollar estas predicciones o estimaciones. La necesidad de los pronósticos en P&CP va más allá de predecir la demanda futura. También se deben pronosticar los valores de otras constantes y

parámetros que influyen en la decisión de P&CP, como son tarifas salariales, precios de materias primas y el costo de capital. Además, los pronósticos tienen muchas aplicaciones obvias aparte de la P&CP. Por ejemplo, las necesidades de flujo de material que inducen la decisión de distribución de planta son realmente estimaciones de flujos futuros, porque se trata de diseñar una distribución que cumpla con necesidades futuras y no flujos pasados. Los datos que se usan en la simulación de un sistema son realmente pronósticos con los que se trata de imitar cómo trabajará un sistema en diversas condiciones, y no cómo trabajó en condiciones pasadas. De hecho, la mayoría de las herramientas de II/IO que se conocen tienen como finalidad usarse junto con datos de entrada que son estimaciones de realizaciones futuras de estos datos y se deben pronosticar por algún medio u otro.

3.2.1 Enfoques de pronósticos: comparación de los métodos subjetivos con los métodos cuantitativos.

Un problema de pronósticos típico podría ser el de obtener estimaciones de las ventas mensuales de un producto durante cada uno de los próximos doce meses. Estos doce estimados se podrían obtener por medios subjetivos, por ejemplo, pidiéndole su opinión a vendedores y representantes de campo y usando las respuestas como pronósticos, o mediante un análisis cuantitativo por medio de modelos matemáticos. Cada enfoque tiene ventajas y desventajas relativas. Por otro lado, las apreciaciones subjetivas pueden aportar factores cualitativos difíciles de incluir en un modelo matemático. Además, con frecuencia un análisis cuantitativo es más consistente que un enfoque subjetivo y puede proporcionar más información mediante manipulaciones y análisis de sensibilidad. Cada enfoque tiene ciertos tipos de situaciones en que se es más exacto que otro, es decir, produce estimados que se acercan más al valor real verdadero. En general, los enfoques cuantitativos son más exactos cuando se dispone de una historia de la variable que se está pronosticando, y esta historia es indicativa de cómo esa variable actuará en el futuro.

3.3 PLANEACION AGREGADA

En la determinación de la tasa de salida o de producción adecuada en una organización industrial o de servicio está implícito un problema de dos niveles o fases. Primero, se tiene que establecer una tasa de producción agregada general, 25,000 docenas de melón al mes de la planta de Michatoya y 50,000 docenas de melón de la planta de Zacapa. Segundo, se tiene que decidir cómo programar las máquinas empacadoras y las estaciones de trabajo dentro de estas plantas para cumplir con este objetivo general de producción de planta. El problema de la determinación de la mejor tasa de producción

de planta general (primer nivel) se denomina, a menudo, regularización de producción o problema de planeación agregada.

La planeación agregada se refiere al problema de decisión de determinar la mejor tasa de producción para aplicarla a una instalación a nivel de planta de un período a otro en función de consideraciones conflictivas de costo, como son los costos de contratación y despido de personal y los costos de mantener el inventario. El resultado final de esta decisión es un plan de producción, en que se especifica la producción que se logrará en la instalación en cada período durante un horizonte de planeación predeterminado. Este plan puede seguir muy estrechamente los cambios en la demanda o las ventas, a medida que fluctúan de un período al siguiente, o puede dar como resultado una tasa de producción regular y constante durante todo el horizonte de planeación.

El problema de decisión específico implícito en la planeación agregada consiste en determinar el plan de producción normal que se usará en los siguientes n períodos junto con algunos planes auxiliares (como la subcontratación) que proporcionen el menor costo general de operación de la instalación. Por lo tanto, las variables de decisión comprendidas en este problema incluyen, por lo general, una tasa de producción en tiempo regular a cada período, el nivel de subcontratación que se usará en cada período, el tamaño de la fuerza de trabajo de que dispondrá en cada período y el nivel de tiempo extra que se usará también en cada período. Una decisión indirecta implícita en la especificación del tamaño de la fuerza de trabajo es sobre el número de empleados que se contratarán y despedirán en cada período.

3.3.1 Enfoques para soluciones alternativas.

Con frecuencia, las empresas establecen planes de producción agregada de una manera subjetiva, y basada en las imposiciones de la alta gerencia debido a factores políticos, consideraciones sindicales y la influencia de la competencia. Por ejemplo, una empresa internacional puede desear mantener operando una planta extranjera a la misma tasa de producción mensual para evitar despidos de personal y la presión gubernamental asociada, debido a esta acción. El costo indirecto para la empresa, debido a las tácticas de presión gubernamental, puede sobrepasar en gran medida cualquier sanción sobre el costo directo, incurrida por el uso de un plan de producción constante, en comparación con un costo que incluye cambios en la fuerza de trabajo.

Además, hay muchas situaciones en que las empresas aplican un análisis cuantitativo del problema de planeación agregada para establecer sus planes de producción. En estos casos, la empresa tiene varios enfoques alternativos que puede usar para enfrentar este problema. Estos enfoques son

básicamente alternativas para modelar las variables de decisión, las restricciones y los costos implícitos en el problema. Sin embargo, todos incluyen la formulación de un modelo matemático del problema de decisión de planeación agregada asociada y un método propuesto para resolver ese modelo. La diferencia está en la estructura del modelo resultante. Por ejemplo, el modelo se puede convertir en un problema de programación lineal, en uno de programación no lineal o en uno de optimización no lineal irrestricta.

3.3.2 Un enfoque de la programación lineal.

Cuando el problema de planeación agregada de una empresa, se modela de tal manera que todos los costos (costos de mantener el inventario, costos de cambios en la fuerza de trabajo, etc.) y todas las restricciones implícitas son funciones lineales de las variables de decisión, entonces el modelo matemático resultante se puede tratar, a menudo como un problema de programación lineal.

El enfoque inicialmente sugerido por Bowman, está formulado y aplicado al caso en que las necesidades de producción (demanda) en cada período se pueden cumplir por medio de cualquiera de las diversas fuentes alternativas (producción en tiempo regular en ese período, producción en tiempo extra en ese período, o subcontratación). Además, está comprendido un solo producto o un grupo de productos, el inventario se puede mantener de un período a otro a un costo unitario dado; no se permiten faltantes en ningún período y el costo de obtención de unidades de cualquiera de las fuentes alternativas es un costo lineal que varía con el volumen o la cantidad de la fuente usada.

Sea:

X_{it} = número de unidades de demanda en el período t que se debe cumplir por medio de una fuente de producción alternativa i ($i = 1, 2, \dots, N$; $t = 1, 2, \dots, T$).

D_t = número de unidades necesarias en el período t .

P_i = capacidad de la fuente alternativa i para producir unidades.

C_i = Costo de producir una unidad por la fuente i .

h_t = Costo de mantener una unidad en inventario del período t al período $t+1$.

I_t = inventario disponible al final de período t .

El objetivo del problema es encontrar el nivel de uso de la fuente alternativa i en el periodo t (esto es, especificar valores para todas las X_{it}) a fin de minimizar el costo combinado de producción y de mantener el inventario en todo el horizonte de planeación (durante periodos $t = 1, 2, \dots, T$). Sin embargo, en la especificación del plan de producción (los valores de X_{it}) se deben cumplir las siguientes restricciones:

1. El número de unidades de producción de cada periodo por una fuente de producción alternativa dada no debe exceder la capacidad de esa fuente disponible en el periodo.
2. El inventario disponible al final de un periodo debe ser igual al inventario disponible al final del periodo anterior más todas las unidades producidas en el periodo menos la demanda en ese periodo. (Esta restricción de "conservación del flujo" asegura que no se use o haya fuentes de producción más allá de las explícitamente definidas).
3. El inventario disponible al final de un periodo, no debe ser negativo. (Esto es para prevenir faltantes cuando haya demanda).
4. El número de unidades producidas por cualquier fuente dada en cualquier periodo no debe ser negativo. (Aquí no existe interpretación física para la producción negativa).

Estas restricciones, junto con el objetivo establecido antes, definen el problema de planeación agregada que se está tratando. Usando la terminología descrita anteriormente y los supuestos a los costos lineales, el problema se puede representar así:

$$\text{Mín } X_0 = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N C_i X_{it} + h_t I_t \right)$$

$$\text{S.A: (1) } \sum_{t=1}^T X_{it} \leq P_i \quad \text{para todas las } i$$

$$(2) \quad I_t = I_{t-1} + \sum_{i=1}^N X_{it} - D_t \quad \text{para todas las } t$$

$$(3) \quad I_t \geq 0 \quad \text{para todas las } t$$

$$(4) \quad X_{it} \geq 0 \quad \text{para todas las } i \text{ y } t$$

El modelo representado es un problema de programación lineal. Además, tiene una estructura especial que puede aprovecharse para elaborar un algoritmo altamente eficiente para usarlo en su solución. Específicamente constituye un problema de transporte.

3.4 PROGRAMACION

El enfoque de la programación lineal, visto anteriormente, examinó el problema para determinar el mejor plan de producción general para una planta o una empresa. Este problema de planeación de la producción es una decisión de programación agregada en que se está programando el uso de una o más plantas u otras instalaciones mayores durante determinado período. Es un problema agregado porque se están programando grupos agregados de productos y el uso de instalaciones de macronivel, como plantas enteras, y no instalaciones de micronivel, como máquinas individuales.

La esencia de este problema de programación de operaciones es la selección de cuáles operaciones se procesarán y con qué equipo disponible, y la determinación del tiempo para el inicio de estas operaciones.

Muchos problemas de decisión gubernamentales e industriales implican la programación de operaciones de trabajo. Como ejemplo se puede mencionar y determinar cuándo debe salir de la terminal cada camión de una flotilla colectora de basura y qué basureros debe visitar para depositarla y en qué orden. Existen problemas de programación similares en la planeación de uso de otros vehículos de entrega y de transporte, como los camiones de combustible, camiones repartidores y patrullas de policía. Otro ejemplo de un problema de programación de operaciones es la determinación de qué edificios debe inspeccionar cada persona de una oficina de prevención de incendios durante un período determinado, y en qué orden se deben realizar estas inspecciones.

3.4.1 Programación y control de la producción a nivel de taller.

Con frecuencia en un taller de trabajo típico u otras plantas industriales, hay un puesto denominado "despachador" o "programador de taller". Es él la persona encargada de la asignación diaria de rutas de trabajo a través del taller. Su trabajo incluye la programación de cada orden de trabajo que entra al taller, mediante la asignación del trabajo que se debe hacer para completar esa orden a diversas máquinas o centros de trabajo en el taller. Puesto que hay una cantidad limitada de capacidad y de tiempo de trabajo disponible en cada centro de trabajo, el programador debe tomar, con frecuencia, decisiones sobre cuáles de las órdenes de trabajo aún pendientes se asignarán primero a centros de trabajo común en que todas se deban procesar. Esta decisión de asignación es parte de su función de programación o planeación de la producción.

Este también se encargará de vigilar el avance de las órdenes de trabajo por el taller. Debe verificar que el trabajo real que se está haciendo en cada tarea esté a tiempo o adelantado respecto a su avance planeado por el taller. Cuando se encuentra que un trabajo está retrasado, él debe de determinar la razón y, si la prioridad de la orden de trabajo de que se trata lo implica, debe apresurarlo en el resto de las operaciones de producción. Pero como con frecuencia se cambia la manera en que se procesa un trabajo en el taller, así también se deben cambiar los planes para procesar varias otras tareas que están compitiendo por el mismo equipo.

3.4.2 Herramientas de la programación y control.

Generalmente, el programador se auxilia con varios documentos para determinar que se necesita para procesar el siguiente trabajo en el taller y para comprender las características de cada uno de ellos. Esta información de acceso proviene de requisiciones, diagramas de flujo de proceso y hojas de rutas, ejemplo de esto es que la hoja de rutas indica al programador las operaciones específicas necesarias para realizar dicho trabajo, el equipo necesario para cada operación, el tiempo estándar para terminar cada operación y las relaciones de precedencias y la secuencia en que las operaciones se pueden efectuar.

Al desarrollar un programa específico para las siguientes semanas o meses, con frecuencia se usan tablas y diagramas, así como técnicas computarizadas. Tradicionalmente, los dispositivos de representación visual del equipo del taller y de los trabajos que se están procesando han sido las herramientas básicas para la planeación, así como es la vigilancia de programas de taller.

Diagramas de Gantt: Este es uno de los modelos de representación visual más antiguos, pero aún de uso común como auxiliar en la programación. Es así, que la mayoría de los dispositivos visuales de programación que hay en el comercio son solamente variaciones del diagrama básico desarrollado por Henry L. Gantt en 1917.

Este diagrama no solamente muestra las condiciones actuales y planeadas de cada trabajo dentro del taller, sino que también indica la carga de cada máquina, así como cuando está programado un paro de las máquinas para su mantenimiento. También, en el diagrama se pueden calcular fácilmente el uso real y el planeado, y el tiempo ocioso para cada máquina.

La asignación de trabajos a las máquinas que se observa en el diagrama siguiente, representa un programa específico. Se podrían generar otros programas alternativos reacomodando el orden de algunos de los trabajos o reasignando un trabajo a una máquina diferente.

Centro de Torno	Enero ----->					17	<----- Hoy				
	10	11	12	13	16		18	19	20	23	24
32	[Trabajo 54] [Trab. 75]						Manten. [Trab. Tel				
45	Manten. [Trab. Zeno						[P55				
77	[Trab. en espera de material]						[Trab. 37]				
27	Trab. MM						No programado TRX12 ----->				
63	Trab. 21 [Trab. 32						[Trab. 597]				
14	FAR y L. subcontratados						----->				

* Trab. (trabajo)

Ilustración de un diagrama de Gantt.

Por ejemplo, se podría haber tenido una programación diferente, si se moviera el trabajo 32 de la máquina o centro de torneado 63 a la máquina 27, iniciando inmediatamente después de terminar el trabajo MM y desplazando el tiempo de inicio del trabajo 597 hasta el 12 de enero para aprovechar la holgura de la máquina 63.

Pero ¿cuál de estos dos programas alternativos es el mejor? Hay varias formas de medir las posibilidades de un programa. Uno de los criterios más comunes es la media o el tiempo de flujo promedio de los trabajos a través del taller, implícito en el programa. El tiempo de flujo total es una medida del programa general y se define como la suma de los tiempos de terminación de todos los trabajos, es decir, la suma del tiempo de procesamiento para los trabajos más el tiempo que deben esperar en el taller antes de su terminación. Por ejemplo, el trabajo 54 tiene un tiempo (estimado) de terminación de 3 días de trabajo, el trabajo 57 tiene un tiempo (estimado) de terminación de 6 días, y así sucesivamente. El tiempo de flujo medio para el programa que se muestra en el diagrama es entonces (sin incluir el trabajo Tel, el P55 y el TRX12):

$$\frac{3 + 6 + 6.5 + 3 + 7 + 2 + 2 + 6 + 9}{9} = 4.9 \text{ días}$$

De igual manera, el tiempo de flujo medio para el programa opcional ya mencionado es:

$$\frac{3 + 6 + 6.5 + 3 + 7 + 2 + 6 + 2 + 5}{9} = 4.5 \text{ días}$$

Por lo tanto, el programa se consideraría mejor si el tiempo de flujo medio fuera el criterio pertinente para el programador.

El diagrama de Gantt tiene ventajas y desventajas como auxiliar en la programación. Es fácil de elaborar y usar, y transporta fácilmente la información de programación necesaria. Sin embargo, su aplicación está limitada debido a los límites físicos que tiene un diagrama o tablero para mostrar visualmente gran número de centros de máquina o de longitud del horizonte del programa. Además, aunque los diagramas y los tableros son efectivos para visualizar un programa, no son un instrumento eficiente para generar y analizar programas alternativos potenciales.

Técnicas cuantitativas: debido a las limitaciones de los diagramas y los tableros, en los últimos años se han utilizado mucho las técnicas cuantitativas computarizadas para mostrar visualmente un programa y para generar un buen programa. En la actualidad, existen sistemas de computadora tanto de un modo interactivo de partidas como de tiempo real que permiten al programador mantener bases de datos actualizados acerca del estado actual de grandes números de máquinas y trabajos, así como disponer de programas óptimos recomendados para usarlos en el futuro. Algunos de estos sistemas de computadora incluso tienen acceso automático de datos, o bien acceso directo del equipo de producción o de los operadores.

Aunque la tecnología de computación que se usa para auxiliar en la programación es muy avanzada, la tecnología de optimización usada para generar programas recomendables aún no lo es. La razón principal de esto es que el típico problema de programación de taller de trabajo real es extremadamente complejo y, por tanto, es difícil formular grandes problemas en un modelo matemático exacto apropiado para las técnicas de optimización conocidas. Específicamente, se pueden obtener fácilmente soluciones para problemas que implican programar n trabajos (es decir, cualquier número de trabajos) en sólo una o dos máquinas, o ciertos problemas que incluyen n trabajos en tres máquinas, pero el problema general de programar n trabajos en m máquinas es muy grande. Aunque los investigadores han creado modelos de programación entera sumamente exactos de este problema general, no se conocen técnicas de solución eficientes para estos modelos. Sin embargo, casi siempre es posible usar los modelos más pequeños y sencillos en la solución de problemas de programación real, mediante la subdivisión o suboptimización de problemas inmediatos mayores. De modo similar, la lógica inherente en procedimientos de solución para los modelos más pequeños es, con frecuencia, útil para desarrollar procedimientos heurísticos para analizar problemas más reales (n trabajos en una máquina y de n trabajos en dos máquinas por ejemplo).

3.4.3 Programación en talleres con producción intermitente.

En el caso de talleres de planta grandes con muchas máquinas y trabajos con flujos de rutas aleatorias y llegadas dinámicas de trabajo, por lo general, se usan los diagramas de Gantt. La principal función del diagrama de Gantt en estos casos es servir como un modelo visual del programa actual y el planeado. Se puede actualizar fácilmente conforme llegan nuevos trabajos y se procesan dentro del programa existente.

Un diagrama de Gantt funciona solamente como un vehículo para mostrar visualmente el programa. Se necesitan otros elementos y técnicas para ayudar al desarrollo o generación del programa. En un caso de programación dinámica compleja, con frecuencia se usan guías heurísticas, denominadas reglas de expedición. Estas funcionan como criterios conforme a los cuales se asignan prioridades a cada trabajo en consideración para procesamiento en ese momento. Una regla de expedición de uso común es la TPC ya definida anteriormente. Si, por ejemplo, el programador tiene cinco trabajos a los cuales debe asignar rutas a través del taller el lunes en la mañana, podría asignar prioridad superior para su entrada a máquinas al trabajo con el menor tiempo de procesamiento general restante.

Existen muchas otras reglas de expedición que se han utilizado y experimentado en varios casos de taller de trabajo. Primeras entradas, primeras salidas (PEPS) es una regla muy común, junto con la de fecha de cumplimiento, en que a los trabajos se asignan prioridades iguales a su fecha de terminación prometida (los trabajos con números más bajos de prioridad se procesan primero). Otras son la del menor trabajo pendiente, en la que la prioridad del trabajo es igual a la suma de tiempos de procesamiento para todas las operaciones aún no efectuadas para ese trabajo, y la del siguiente trabajo en la línea, en que la prioridad del trabajo depende de la línea de trabajo que espera en la siguiente máquina que se visitará, con base en el ordenamiento tecnológico de las operaciones de trabajo. Aunque es una de las más sencillas reglas de expedición, la estrategia TPC es una de las más efectivas en términos de medida de desempeño, como el tiempo de flujo medio.

Una alternativa en el uso de reglas de expedición heurísticas en situaciones de taller de trabajo intermitente es el uso de la teoría de líneas de espera. El flujo de trabajo, a través del taller, se modela con llegadas de trabajos, servidores (máquinas) en serie o en paralelo y líneas de espera entre los servidores. Sin embargo, se dispone solamente de resultados analíticos de forma cerrada muy limitados para ayudar a generar programas óptimos, debido a las complejidades matemáticas implícitas en el modelado del taller de trabajo como una red de líneas interrelacionadas.

3.4.4 Problemas de programación de operaciones.

Existen muchos problemas de decisión prácticos fuera del campo del taller de planta, que se clasifican como problemas de programación. En algunos de éstos, se usan los mismos elementos analíticos que en los problemas de programación y secuenciación de talleres de planta, mientras que otros se tratan mediante enfoques alternativos como la programación matemática. Un ejemplo de un problema de esta última categoría es el de la programación de los buquetanques que transportan productos químicos en volumen.

Para estos tipos de problemas, se ha creado un sistema computarizado interactivo para ayudar al programador a generar soluciones óptimas o satisfactorias. Los componentes básicos del sistema de computadoras son: 1) una rutina para evaluar los costos y factibilidad de cualquier programa. 2) un módulo interactivo para guiar al programador a través de los cambios de los viajes, sugeridos por el usuario, 3) una rutina para generar un programa factible a partir de datos tentativos y 4) una rutina para generar el programa óptimo basado en un programa inicial factible determinado.

CAPITULO 4

CONTROL DE INVENTARIOS

4.1 DEFINICION DE CONTROL DE INVENTARIOS

El control de inventarios es la actividad de administrar determinada situación del inventario. Generalmente implica mantener un sistema de contabilidad para controlar las transacciones que influyen en el nivel del inventario, y tomar decisiones de reabastecimiento de inventario. El sistema contable o de mantenimiento de registros se puede mantener manualmente, o bien, computarizar. En cualquier caso, el propósito es el mismo: controlar las transacciones del inventario. Un sistema de mantenimiento de registros típico es el "archivo Kardex" en que se mantiene un índice de tarjetas para cada artículo inventariado. Todas las transacciones concernientes a un artículo se registran en la tarjeta respectiva.

Por lo general, hay dos decisiones básicas de reabastecimiento que se toman periódicamente cuándo ordenar y cuántas unidades ordenar cuando se coloque el pedido. Por lo tanto, el control de inventario no sólo implica contabilizar o llevar libros, sino también tomar decisiones periódicas sobre tiempos o puntos de reorden y cantidades por ordenar.

Igual que en el caso del análisis cuantitativo de cualquier problema de decisión, el primer paso para derivar puntos y cantidades óptimas de reorden del inventario consiste en formular un modelo matemático para representar la decisión. Por lo general, estos modelos incluyen una función objetivo para minimizar los costos que se modifican directamente por los cambios en la política de reorden de inventario, y las restricciones sobre esta política, debidas a recursos limitados como es el espacio de piso para almacenamiento. Por tanto, el modelo de resultado es un problema de optimización irrestricta, o bien, un problema de programación matemática, que depende de si se incluyen o no explícitamente restricciones en el modelo.

Posteriormente, se puede deducir una política óptima de inventario de este modelo mediante el uso de un procedimiento o algoritmo de solución apropiado.

4.2 CLASIFICACION DE SITUACIONES DE INVENTARIO

4.2.1 Costos considerados.

Los tipos de costos modelados e incluidos explícitamente en el análisis son una manera de clasificar situaciones de

inventario, los costos básicos que se consideran normalmente para incluirlos en el análisis son el costo de colocar un pedido, el costo de mantener el inventario de un día al siguiente y el costo de cualquier faltante en que se incurra (unidades demandadas no disponibles). Para una situación de inventario específica, el costo del faltante puede ser la ganancia perdida al no realizar una venta; en otro caso, puede ser que no admitan faltantes, de modo que no se necesita incluir costos por faltante en el análisis.

4.2.2 Proceso de reabastecimiento del inventario.

La tasa de reabastecimiento o ingreso de la cantidad de reorden tiene un importante efecto en el análisis de una situación de inventario. La tasa de reabastecimiento será algún valor infinito o finito, por ejemplo, 15 unidades por hora. Si la tasa es finita, las unidades que constituyen la cantidad de reorden se ponen juntas en el inventario como una partida o lote instantáneo a su llegada. Esta es una característica del reabastecimiento de un artículo de venta al menudeo, o de la materia prima en una planta. En cambio, algunas situaciones de inventario implican situar en inventario una por una las unidades que constituyen la cantidad de reorden. En este caso, el reabastecimiento se efectúa a una tasa finita respecto al tiempo. Un ejemplo, es el inventario en proceso de una planta, como es la acumulación de radios parcialmente ensamblados entre dos estaciones en una línea de ensamble. Los modelos matemáticos y los procedimientos de solución usados para derivar la estrategia óptima de reorden para situaciones de inventario con una tasa de reabastecimiento finita son diferentes de los que se usan en situaciones con una tasa infinita.

4.2.3 Naturaleza estocástica de la situación de inventario.

La naturaleza de muchos de los atributos de una situación típica de inventario es estocástica, ya que no ocurren con certeza. Por ejemplo, usualmente la demanda sobre el inventario es una variable aleatoria aun cuando se pueda tener un excelente pronóstico del valor que tendrá la demanda. Las técnicas que se utilizan para modelar y analizar variables aleatorias son más complicadas que las que se aplican en situaciones completamente determinísticas. Cuando se usa un enfoque estocástico, los dos factores que se modelan más comúnmente como variables aleatorias son la demanda y el tiempo de entrega.

4.2.4 Criterio de revisión.

Existen dos criterios básicos que se usan en el control o revisión del nivel real del inventario para determinar si y cuándo se debe colocar una orden de reabastecimiento. El primero es el criterio de revisión continua, en que se controla constantemente el estado del nivel de inventario.

Tan pronto como el nivel llega al punto predeterminado de reorden, se inicia dicho proceso. El otro criterio es el de revisión periódica, en que el estado del sistema de inventario se controla solamente en puntos específicos predeterminados, como al término del día o de la semana. Si el nivel de inventario está abajo del punto de reorden en el momento que se revisa, se coloca una orden de reabastecimiento. La principal diferencia entre los dos criterios de revisión es que en el de revisión periódica, la decisión se toma sólo en ciertos puntos predeterminados.

4.2.5 Interdependencia de artículos.

Con frecuencia, los artículos almacenados en un inventario interactúan entre sí en distintas formas. Por ejemplo, pueden competir por el espacio limitado de piso, o pueden estar vinculados como subensambles interrelacionados. En estos casos, la decisión que se tome en el reabastecimiento del inventario de un artículo modifica el costo de mantener o reabastecer otro artículo. Determinar criterios de inventario factible de menor costo para estos artículos significa que se tienen que analizar juntos -como un sistema-. Además, cuando los artículos son independientes entre sí, se pueden analizar por sí mismos. La mayoría de las prácticas de determinación de "tamaños de lotes" que se usan en la industria consideran los artículos como si fueran independientes. Cuando el análisis de un problema de inventario aparece en un diario o en la documentación interna de una empresa, generalmente la situación del inventario se describe en términos de las clasificaciones que se expusieron anteriormente.

4.3 MODELO DE WILSON PARA EL TAMAÑO DEL LOTE DE PRODUCCION

Quizá el modelo de inventario que se usa más comúnmente es el del tamaño del lote, de Wilson, o sea al modelo de tamaño de lote económico simple, en este modelo se supone que la situación del inventario tiene las siguientes características.

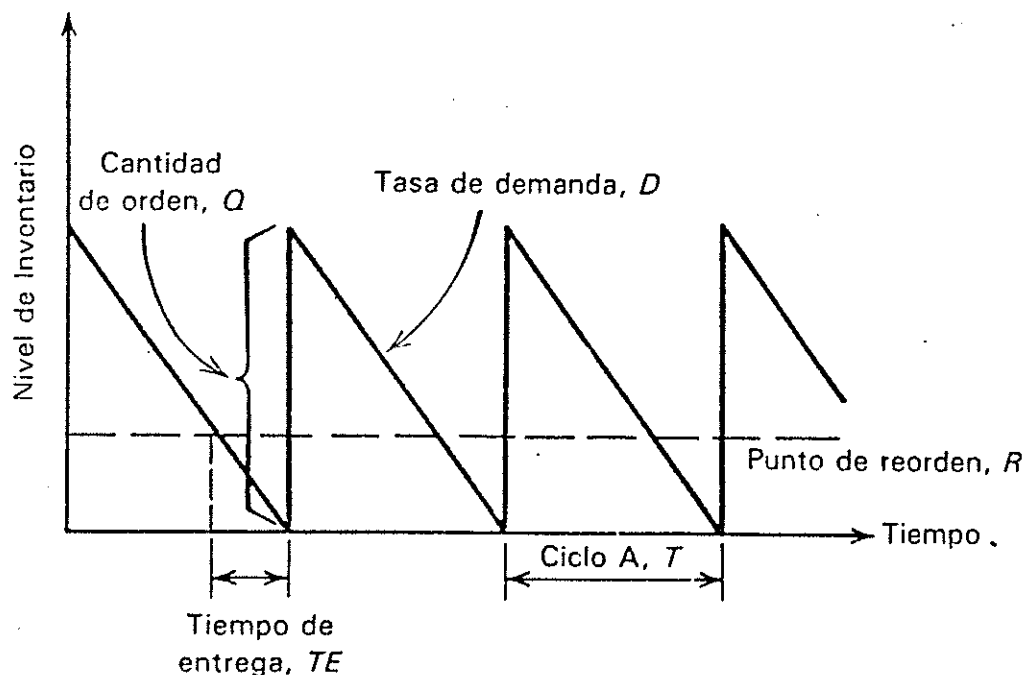
1. Los costos relevantes son el de mantenimiento y el de reorden.
2. No se permiten faltantes.
3. La tasa de reabastecimiento es infinita.
4. Todos los aspectos del sistema de inventario son determinísticos.
5. Se usa un sistema de revisión continua para propósitos de reorden.

Como se indicó anteriormente, (denominado modelo de tamaño de lote de Wilson) es el que más se usa. Esto no quiere decir que éste sea el más común en la práctica, sino que cualquiera que sea la situación real que se analice, con

frecuencia se modela como si tuviera las mismas características que la situación del modelo de tamaño de lote de Wilson. Por lo tanto, la situación real que se plantee puede implicar, por ejemplo, un tiempo de entrega probabilístico, pero el analista debe tratarlo como determinístico usando el valor esperado como el valor (constante) del tiempo de entrega.

4.3.1 Modelo gráfico:

La primera parte del análisis de un problema de inventarios es comúnmente elaborar una ilustración gráfica de la forma en que fluctúa característicamente el nivel del inventario en función del tiempo.



En la gráfica, un ciclo se inicia con la recepción de la orden previa y termina justo antes de la recepción de la siguiente orden. Aunque en la práctica esto no sucede usualmente, aquí se está tratando con un modelo o representación que con frecuencia es exacto. Con base en ello, se puede calcular rápidamente el nivel promedio de inventario durante el año; ésta es la base para determinar el costo de mantener el inventario que se incluirá en el modelo.

4.3.1 Modelo matemático:

El paso siguiente en el análisis consiste en formular un modelo matemático del problema de decisión de encontrar los mejores valores que se pueden usar para el punto y la cantidad de reorden en función de los costos y la demanda reales. En el modelo de tamaño de lote de Wilson, se tiene un modelo normativo que consiste en la minimización del costo promedio anual de mantener el inventario, más el costo promedio anual de colocar pedidos, sin restricciones en los valores factibles del punto y la cantidad de reorden que no sea el hecho de que ambos deben ser positivos.

La decisión respecto al mejor valor para el punto de reorden R es independiente de la decisión sobre la cantidad de reorden Q . Esto es real en el modelo de tamaño de lote de Wilson debido a la naturaleza determinística de la demanda. El punto de reorden es simplemente el nivel del inventario requerido al inicio de un tiempo de entrega para que el inventario se reduzca exactamente a cero al final del tiempo de entrega. Por lo tanto, si el tiempo guía es LT años y la tasa de demanda es D unidades por año, el punto de reorden es

$$R^* = (D) \times (LT) \quad (4.1)$$

Esto es, expresando el modelo en una sola variable de decisión Q .

El componente del costo de mantener el modelo se formula como el nivel promedio anual del inventario por el costo de mantener una sola unidad del inventario durante un año. El nivel promedio se puede definir como el número promedio de unidades años del inventario mantenidas durante un periodo de un año y se puede derivar mediante la gráfica ya establecida.

Para determinarlo, primero se debe encontrar el número de unidades-año del inventario mantenido durante un ciclo. Esto es el área del triángulo que representa el inventario mantenido durante el ciclo y tiene una altura de Q , una base de T y una pendiente de D ; el área para el ciclo es $1/2(Q) \times (T)$, o la pendiente $D = Q/T$, expresando el área del ciclo también como $(Q^2/2D)$. Después, encontrar el número promedio de ciclos que habrá en un año. Como un ciclo tiene T años de longitud, entonces hay un promedio de $1/T$ ciclos en un año. Por lo tanto, el área total para un año, o sea el número promedio de unidades-años mantenidas, es $(Q^2/2D)(1/T)$, o sea $(Q^2/2D)(1/Q/D)$, o bien $(Q/2)$. Igualando a C_h el costo de mantener una unidad en inventario durante un año, un modelo del costo anual de mantenimiento será $(C_h Q/2)$ unidades monetarias por año.

El parámetro de costo C_h se expresa en unidades monetarias por unidad de inventario, y es el valor en dinero de un artículo inventariado por un porcentaje por

mantenimiento. Este factor de porcentaje incluye componentes como impuestos sobre la propiedad y costo del seguro sobre artículos inventariados, cargo por almacenamiento si hay alguno y costo del dinero o del capital invertido en artículos inventariados. Este último componente, el costo de capital, usualmente es el predominante.

No hay consenso acerca de la definición exacta o composición del costo del componente de capital. Puede interpretarse como un costo de oportunidad incurrido por la inversión de capital en inventario "ocioso", a diferencia de usar ese capital en una aplicación alternativa.

El segundo componente del costo del modelo del problema de decisión es el de colocar pedidos. Al situar el modelo de tamaño de lote de Wilson, el costo de pedir (ordenar) se define como el número promedio de pedidos colocados durante el año por el costo de colocar sólo uno. Por lo tanto, el número de pedidos es igual al número de ciclos en un año lo cual es $1/T$ o bien, por gráfica, D/Q . El componente del costo de orden es $C_o D/Q$. El modelo del problema de decisión o de inventario se puede plantear de la manera siguiente:

Min (costo anual promedio total) = costo de mantenimiento +
costo ordenamiento

o sea

$$\text{Min TC} = \frac{C_h Q}{2} + \frac{C_o D}{Q}$$

Este modelo representa entonces, el problema de decisión de seleccionar el mejor criterio de reorden del inventario, debido a que las características de la situación del inventario disponible concuerdan con los supuestos del caso del tamaño de lote de Wilson. Cuando los supuestos no se cumplen, se formula un modelo diferente. Sin embargo, se usa un mismo enfoque en el modelado de los diversos componentes de costo.

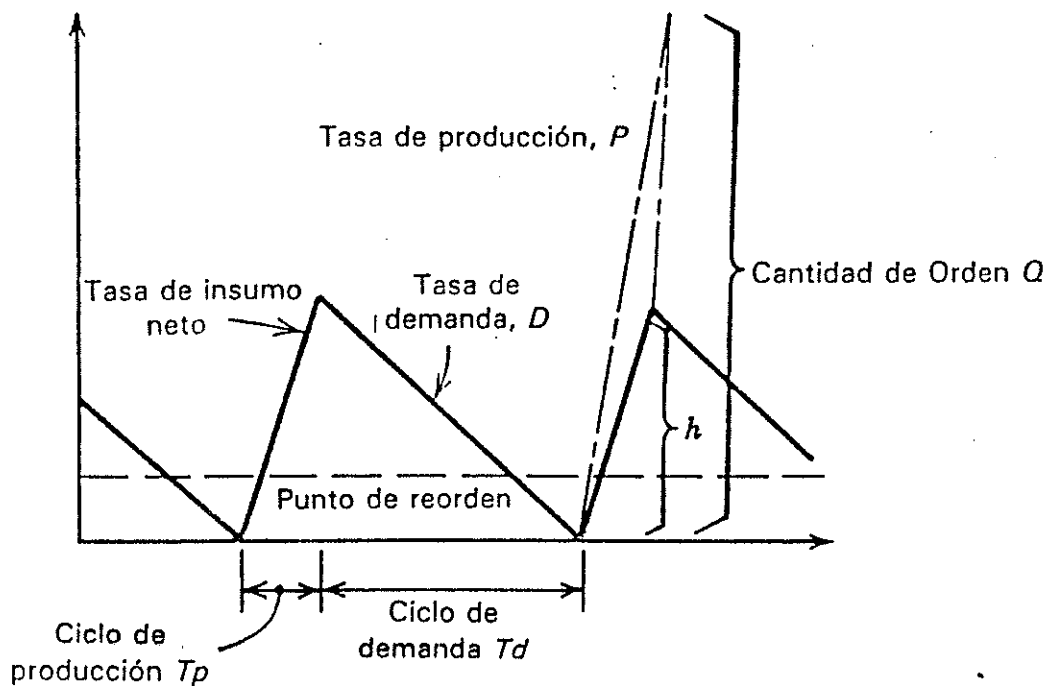
4.4 MODELOS SOBRE EL TAMAÑO DEL LOTE DE PRODUCCION

En el modelo del tamaño de lote de Wilson, se supone que una vez colocado y recibido un pedido de reabastecimiento, éste se coloca en existencia como una partida completa, o bien, a una tasa de ingreso finita. Esto se da en casos de menudeo o de inventario de materias primas.

Este modelo se basa en las mismas características que para el modelo de Wilson, a excepción del uso de una tasa finita de ingreso, donde el enfoque y la resolución son similares a el modelo mencionado.

Modelo gráfico:

La figura que se presenta a continuación es similar al de la figura del modelo de Wilson, a excepción de la división del ciclo que para este caso se divide en dos partes, un ciclo de producción y un ciclo de demanda.



Durante la fase de producción, las unidades se fabrican y se generan y colocan en existencia a una tasa de P unidades/año y, al mismo tiempo, se consumen o demandan a una tasa de D unidades/año. La producción termina después de T_p años, y sólo habrá demanda en los restantes T_d años del ciclo; pero si P es muy grande, se degenera y se convierte en el caso de Wilson.

Modelo matemático:

Para obtener el costo del mantenimiento anual promedio, primero se calculan las unidades-años de existencia mantenidas en cualquier ciclo. Esto es entonces, el área bajo la gráfica del inventario para el ciclo de producción más el área para el ciclo de demanda, es decir:

$$\text{Area} = (\%) (T_p) (h) + (\%) (T_d) (h) = (\%)(h)(T_p + T_d)$$

El máximo inventario disponible h se puede encontrar en el triángulo formado en el ciclo de demanda, teniendo que $T_d = d/D$, $T_p = h/(P - D)$. En el ciclo total, $T = Q/D$, quedando entonces como $T = T_p + T_d$

de manera que el área por ciclo es:

$$\text{Area} = (\%) (1 - D/P) (Q) (Q/D)$$

El número promedio de ciclos totales por años es $1/T$ o D/Q , por lo tanto el costo anual promedio es:

$$\frac{C_h Q}{2} (1 - D/P) (Q/D) (D/Q)$$

ó

$$\frac{C_h Q}{2} (1 - D/P)$$

El costo de ordenar es $C_o D/Q$. En general, el modelo se puede expresar como:

$$\text{Mín TC} = \frac{C_h Q}{2} (1 - D/P) + \frac{C_o D}{Q}$$

Para el punto de reorden R , debe quedar dentro del ciclo de producción o dentro del ciclo de demanda, así

$$\begin{aligned} R^* &= (LT) \times (D) && \text{si } LT \leq T_d \\ &= (T - LT)(P - D) && \text{si } LT > T_d \end{aligned}$$

quedando Q como:

$$Q^* = (2 C_o D / C_h (1 - D/P))^{1/2} \quad \text{si } (1 - D/P) > 0$$

esto quiere decir, mientras la tasa de producción sea mayor que la tasa de demanda.

4.5 LA PLANEACION DE LAS NECESIDADES DE MATERIALES

Los modelos anteriores son aplicables a situaciones en que el artículo analizado depende de otros artículos

contenidos en el inventario. En todos ellos, se toman en cuenta diversos aspectos dentro de los costos, pero no todos hacen que exista una suboptimización que produce una deficiente toma de decisiones. Por ello, se han desarrollado varias técnicas y enfoques para incluir la consideración explícita de interdependencias entre artículos en el modelo y el análisis. Una metodología como ésta es la Planeación de Necesidades de Material (PNM).

La PNM es útil en casos en que la demanda de un artículo modifica o determina la demanda de otros artículos. Este es el caso de muchas operaciones de fabricación en que los productos se constituyen de varios subensambles y subcomponentes; el número de artículos finales o padres que se necesita en un período determina el número necesario de cada subcomponente. Otro caso en que las demandas están interrelacionadas y que la PNM es aplicable en un sistema de escalones múltiples de almacenes u otras instalaciones de abastecimiento/distribución.

La planeación de necesidades de material con un programa maestro de la cantidad y la fecha en que cada artículo final se necesitará en el futuro, traduce esto a un programa de las necesidades para subensambles, componentes y materia prima. El resultado es una serie de demanda de tiempo concatenado para cada artículo inventariado. En el proceso de convertir el uso del artículo final en necesidades de tiempo concatenado para partes de niveles inferiores, la PNM toma en cuenta la cantidad del inventario disponible, así como la cantidad ya pedida, en otras palabras, las demandas son las necesidades netas proyectadas para cada período futuro.

Es importante reconocer con exactitud qué es y qué no es la planeación de necesidades de material. PNM es tanto un criterio como una técnica, y tanto un enfoque para programar como para el control de inventarios. Es un sistema de planeación de producción. Toma como insumo un programa maestro de la demanda futura de artículos terminados y convierte automáticamente esto en un programa de qué programar y cuándo hacer ese pedido. La cantidad de cada orden planeado por PNM es una decisión fuera de línea respecto a insumos. PNM no es un modelo o estrategia de asignación de tamaño de lotes en el sentido de los modelos de inventario, sino un sistema de planeación de necesidades de material que automatiza gran parte de la contabilidad de inventarios y mantenimiento de libros que normalmente implicaría de cualquier manera la programación de la producción de artículos dependientes de la demanda.

CAPITULO 5

CONTROL DE CALIDAD

5.1 NATURALEZA DEL CONTROL DE CALIDAD

La calidad de los productos manufacturados es un aspecto de la administración tan antiguo como la fabricación misma. Hasta hace poco, el centro de atención del control de calidad era casi exclusivamente el producto mismo. Es decir, la función de control de calidad era, y aún lo es en gran medida, una confirmación de la capacidad de un producto manufacturado para realizar determinada función durante un periodo prescrito. Sin embargo, hoy los horizontes del control de calidad se han ampliado para incluir no sólo la vigilancia de la calidad de los productos básicos de fabricación, sino también muchos de sus productos secundarios. Varias entidades han establecido normas de calidad para la emisión de contaminantes a la atmósfera por los vehículos y la eliminación de desechos de producción en las corrientes de agua de varios países.

Antes de tratar las técnicas que se pueden aplicar al control de la calidad del producto, es necesario comentar la naturaleza del problema y su contexto. En general, en el control de calidad, se tiene el propósito de detectar la presencia o ausencia de algunas características deseables o no deseables en el producto o el grado al cual están presentes estas características. Por ejemplo, en la fabricación de productos de vidrio, el control de calidad se encargaría de detectar roturas del vidrio, que es una característica indeseable obvia. A un fabricante de muebles le interesaría detectar defectos en el acabado de las mesas. Un fabricante de dentífricos ejercerá los controles necesarios para comprobar que los clientes no reciban un premio indeseable en el tubo de pasta dental, como una mosca un un mosquito. Desde el punto de vista del control de calidad, estas características representan propiedades del producto que están presentes o ausentes, sin tener una medida de su presencia o ausencia y las cuales se denominan atributos.

El propósito de un proceso de fabricación es producir unidades de artículos que se ajusten a las especificaciones del diseño. Además, un proceso de fabricación puede realizar su función, y aún así producir artículos de calidad inferior debido a la deficiencia de las normas del diseño. Además, el proceso puede producir productos de baja calidad simplemente porque no es capaz de cumplir con las especificaciones del diseño.

En este aspecto, conviene señalar dos problemas del proceso. Primero, el proceso puede ser tal que produzca una alta proporción de artículos defectuosos aun en las mejores condiciones. Es decir, la variabilidad inherente del proceso es tan alta que es incapaz de cumplir con las normas del diseño aun cuando esté bajo control. El segundo problema está relacionado con el mal funcionamiento del proceso. Cada proceso de fabricación puede fallar ocasionalmente. En algunos casos, estas fallas son evidentes de inmediato. No obstante, un proceso de fabricación con frecuencia continúa operando después de la falla, pero a un nivel que da un producto de calidad subestándar. En estos casos, a menudo la falla se puede detectar sólo mediante una cuidadosa inspección de las unidades del producto que salen de la línea. Aquí el problema de calidad es de control del proceso. Por tanto, un proceso que produce un producto satisfactorio cuando está bajo control, puede ser insatisfactorio porque se sale de control con demasiada frecuencia.

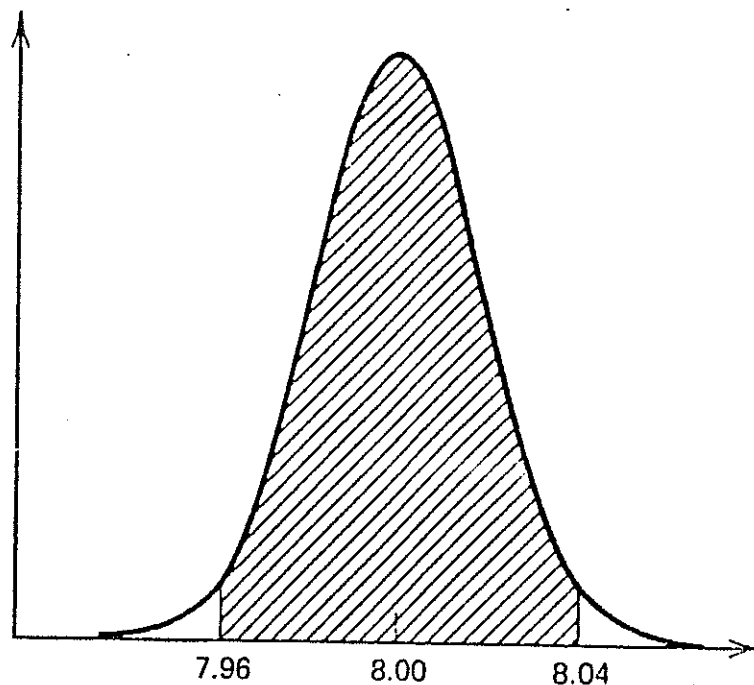
Como se sugiere anteriormente, la calidad del producto manufacturado se puede mejorar si se incrementan las normas del diseño o mediante la afinación del proceso de fabricación. En algunos casos, los requerimientos de diseño son tal altos y el control de fabricación tan estrecho que se puede asegurar la calidad del producto final, eliminando así la necesidad de vigilar la salida del proceso. Pero es más frecuente que se necesite el trabajo de vigilancia para identificar aquellos casos en que la calidad del producto no cumple las normas. Por lo general, este trabajo se efectúa mediante la selección de una muestra aleatoria del producto al final del proceso de fabricación, la inspección de cada unidad de la muestra, y llegar a una conclusión respecto a la calidad general de la población de artículos de donde se tomó la muestra.

Las áreas de aplicación del control de calidad se pueden clasificar en términos generales como **control del proceso y muestreo de aceptación**. Como se mencionó, el control del proceso se lleva a cabo mediante la vigilancia de la salida de un proceso de producción para determinar cuándo está dentro o fuera de control. Cuando se identifica una condición fuera de control, se toman medidas para corregirla y controlar de nuevo el proceso. El muestreo de aceptación se usa para determinar si los lotes específicos fabricados cumplen con las normas de calidad. El resultado del muestreo de aceptación es una decisión de rechazar o aceptar el lote, con base en el resultado de la inspección de muestreo de unidades seleccionadas del lote. Con frecuencia, el muestreo de aceptación se aplica a lotes de materiales que se compran, a lotes producidos internamente antes de entregarlos a los clientes, o a lotes en proceso antes de usarlos en fases subsecuentes de fabricación del producto final. Por tanto, el punto principal del muestreo de aceptación es la disposición de un lote específico del producto, mientras que el control

del proceso es sobre el proceso por el que se produjo el lote. Obviamente, se podría usar un sistema de inspección de muestras para el doble propósito del muestreo de aceptación y control del proceso.

5.2 BASE ESTADISTICA PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Muy pocos sistemas de fabricación tienen capacidad para producir permanentemente un producto sin defectos. Como se verá, la mayoría de los procesos de producción que ocasionalmente se salen de control en puntos aleatorios en el tiempo y que producen algunas unidades defectuosas al azar aún cuando estén bajo control. Considérese un proceso de extrusión para producir tubos metálicos de 8 pulgadas de longitud. Los tubos son aceptables si tienen una medida entre 7.96 pulg. y 8.04 pulg.; es decir, los límites de especificaciones son: 7.96 pulg. (S_L) y 8.04 pulg. (S_U). El proceso de extrusión es tal que cuando está bajo control la longitud de los tubos están normalmente distribuidos con una media de 8.00 pulg. (μ) y una distribución estándar de 0.02 pulg. (σ). Por lo tanto, si x es la longitud del tubo, la probabilidad de que éste quede dentro de los límites de especificación es el área sombreada bajo la distribución normal, o bien, está dada por la ecuación (5.2)



P (Longitud dentro de límites de especificación)

$$\begin{aligned} &= P [S_L \leq x \leq S_U] \\ &= P [7.96 \leq x \leq 8.04] \\ &= P \left[\frac{S_L - \mu}{\sigma} \leq z \leq \frac{S_U - \mu}{\sigma} \right] \\ &= P \left[\frac{7.96 - 8.00}{0.02} \leq z \leq \frac{8.04 - 8.00}{0.02} \right] \\ &= P \left[z < \frac{8.04 - 8.00}{0.02} \right] - P \left[z \leq \frac{7.96 - 8.00}{0.02} \right] \\ &= P [z < 2.0] - P [z < -2.0] \\ &= 0.9772 - 0.0228 \\ &= 0.9544 \end{aligned} \tag{5.2}$$

En la ecuación (5.2) $P(z \leq k)$, hay la probabilidad de que z sea menor o igual que k y ésta se puede encontrar en la función de distribución de la variable aleatoria normal estándar. Por lo tanto, la probabilidad de que cualquier unidad quede fuera de los límites de especificación es de 0.0456; se podría esperar que cerca de 4.56 por ciento de las unidades producidas sean defectuosas respecto a la longitud.

Como se ilustró, si la característica de calidad que se controlará es una variable aleatoria, se debe conocer la distribución de la variable aleatoria para describir el comportamiento probabilístico de la característica. Para especificar completamente la distribución de una variable aleatoria, se debe determinar una relación funcional para la función de densidad de probabilidad y los valores numéricos de los parámetros de la función. Cuando un proceso de fabricación se sale de control respecto a la calidad, la implicación es que algo ha cambiado respecto a la distribución de probabilidad de la característica que se controlará. Cuando una investigación de control de calidad, indica que el proceso se ha salido de control, quiere decir que la distribución de probabilidad de la característica ha cambiado. Sin embargo, no señala la fuente del cambio, sino que solamente se debe buscar y corregir, si se encuentra una fuente asignable de variación. En el caso de muestreo de

aceptación, la detección de un lote inaceptable del producto también indicaría que la distribución de la característica que se debe controlar ha cambiado de una manera inconveniente. No obstante, en este caso la condición indeseable provoca el rechazo del lote y no una investigación del proceso para determinar por qué la calidad general del lote es inferior a la estándar.

5.3 CONTROL DEL PROCESO

El propósito de un sistema de control de calidad del proceso es indicar cuándo se ha salido de control un proceso de fabricación. Esto se logra mediante la selección de una muestra de artículos del proceso de producción, y con base en los resultados de la inspección de la muestra, llegar a la conclusión respecto a la calidad general del producto que está produciendo el proceso. Por ejemplo, si se tomaran 100 artículos de la producción de un día y 90, se encontrarán defectuosos; probablemente se deduciría que el proceso se estaba saliendo del estándar del producto; ésta es una condición que se debe rectificar antes de iniciar la producción del siguiente día. En cambio, si todos los artículos de la muestra tuvieran una calidad aceptable, se tendrían pocas bases para llegar a la conclusión de que el proceso está fuera de control.

Antes de tratar de desarrollar un sistema de control de calidad del proceso, primero se debe determinar si éste será o no efectivo respecto al costo. Por ejemplo, si el proceso produce rara vez una unidad defectuosa, no valdrá la pena implantar un sistema de control de calidad confiable, ya que indicará a la administración únicamente lo que ya sabe: que el proceso es confiable. En el otro extremo, el proceso de fabricación puede ser tan poco confiable que produzca una alta proporción de productos defectuosos en la mejor de las circunstancias. De nuevo, un sistema de control de calidad efectivo sólo serviría para indicar lo que ya se sabe: que el proceso está en general fuera de control.

5.4 MUESTREO DE ACEPTACION

Como se mencionó, las aplicaciones del control de calidad no están restringidas al control de variación del proceso de fabricación. En muchos casos sólo interesa si un lote dado de un producto es o no de una calidad aceptable, sin importar el estado del proceso de fabricación cuando se produjo el lote. Si una empresa comprara cierto producto en lotes de 10,000 unidades, al recibir este lote, la empresa desea asegurarse de la calidad general del lote antes de aceptarlo y pagarlo. En esta situación, la organización que

compra el lote no está interesada o es incapaz de controlar el proceso en que se produjo dicho lote.

El muestreo de aceptación tiene como propósito segregar lotes de calidad aceptable o inaceptable con base en los resultados de la inspección de una muestra de unidades tomadas al azar del lote. Cuando la característica que se va a controlar es una cantidad medible, se puede aplicar un sistema de control de calidad de variables para la desviación media o estándar. La única diferencia respecto al control del proceso es que en éste en la aplicación es la aceptación o el rechazo de la hipótesis de que la desviación media o estándar está en su valor deseado, dando como resultado la aceptación o rechazo del lote, y no una decisión de buscar o no una causa asignable de variación en el proceso de producción. Por supuesto, se puede usar un sistema de calidad dado para el doble propósito de controlar el muestreo y el proceo cuando es apropiada una aplicación dual.

S E C C I O N I I I

P R O D U C T I V I D A D

CAPITULO 6

PRODUCTIVIDAD

6.1 DEFINICION DE PRODUCTIVIDAD

La palabra productividad se ha vuelto tan popular en la actualidad, que es raro que no la mencionen en un contexto u otro. De hecho, pareciera que el término "productividad" se usa para promover un producto o servicio.

En sentido formal, tal vez la primera vez que se mencionó la palabra "productividad" fue en un artículo de Quesnay en el año de 1766. Más de un siglo después, en 1883, Larousse Etymological Dictionary, edición 1946-1949 definió la productividad como la "facultad de producir", es decir, el deseo de producir. Sin embargo, no fue sino hasta principios del siglo XX que el término adquirió un significado más preciso como una relación entre lo producido y los medios empleados para hacerlo.

En 1950, la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) ofreció una definición más formal de productividad:

Productividad es el cociente que se obtiene al dividir la producción por alguno de los factores de producción. De esta forma es posible hablar de la productividad del capital, de la inversión o de la materia prima según si lo que se produjo se toma en cuenta con respecto al capital, a la inversión o a la cantidad de materia prima, etc.

El concepto de productividad se refiere al grado de aprovechamiento de los recursos. Esencialmente, la productividad es la relación entre el nivel de salida de un proceso o sistema y el nivel de insumo necesario para obtener esa salida. En otras palabras, la productividad es cuánto rinde la unidad.

La productividad está estrechamente relacionada con la lucratividad de una organización. Al igual que la productividad, la lucratividad es una manera de considerar la relación entre el producto de un proceso y sus insumos asociados. La primera diferencia es cómo se define o modela esta relación. Las utilidades son los resultados netos de restar los costos de los insumos de los ingresos generados por la venta de una salida de producción. Por otra parte, la productividad se expresa usualmente como la razón de la salida de producción dividida entre los insumos. Y por lo

general, las medidas de productividad se desarrollan sobre una base reducida; es decir, se eliminan los efectos de la inflación del precio, y en la contabilidad de utilidades no. Otra diferencia es que mientras la lucratividad tiene como base el dinero, la productividad es física, o sea unidades de producción, fuerza de trabajo, etc.

Comúnmente, una empresa productiva es también una empresa lucrativa. Esto se debe a que entre más productivo se sea en el uso de recursos, mayores beneficios se obtendrán de esos recursos. Se necesita menos tiempo, esfuerzo y material para producir la misma cantidad de partes o unidades. Sin embargo, debido a que las utilidades se basan en las ventas, una organización puede ser muy eficiente y productiva en el uso de sus recursos, pero las condiciones del mercado pueden no permitirle vender sus productos a un precio lo suficientemente alto para obtener una utilidad neta.

6.1.1 Componentes de la administración de la productividad.

Casi todos los negocios tienen un sistema de contabilidad en que se registra y comunica información para uso administrativo acerca de la lucratividad del negocio. Este sistema de contabilidad se basa en medidas o modelos específicos de costos y utilidades, como los efectos del costo de depreciación de equipo. Además de esta medición y este informe, la mayoría de las empresas trabaja activamente para mejorar las utilidades, ya sea mediante programas de mejoramiento de utilidades formales, o mediante proyectos informales independientes con el propósito de reducir costos o aumentar ingresos.

De la misma manera, con respecto a la productividad, muchas organizaciones también realizan esfuerzos dirigidos a las mismas tres áreas o componentes: medición, informe y mejoramiento. El propósito último de centrar la atención en el concepto de productividad es el mejoramiento. Sin embargo, se debe saber qué áreas de las operaciones necesitan mejoramiento en su productividad. ¿Dónde radican los problemas? Para contestar a esta gran pregunta se necesita poder medir y analizar el nivel de productividad de las operaciones. Y para asegurar que la atención administrativa adecuada esté centrada en las áreas problemáticas, es necesario mantener un sistema de información. Mediante este sistema se obtiene el control necesario del desempeño de la productividad.

6.2 PROGRAMAS DE PRODUCTIVIDAD

Aunque el mejoramiento de la productividad ha sido un aspecto informal de la mayoría de las empresas desde la época de Fredrick Taylor, la difusión de uso de programas empresariales formales para la medición, la información y el mejoramiento de la productividad constituye un desarrollo relativamente reciente.

El alcance actual de estos programas se comprobó mediante una encuesta realizada entre las 1,300 mayores corporaciones norteamericanas, dirigidas por Sumanth y Einspruch. Setenta y cinco por ciento de las compañías industriales que contestaron la encuesta informaron que contaban con un programa formal de medición de la productividad. Ventitrés por ciento de estas empresas tenían departamentos a nivel corporativo específicamente dedicados a programas de productividad. El dieciocho por ciento tenía estos departamentos a nivel de planta. Con frecuencia, estos departamentos se orientan hacia la función de ingeniería industrial, como lo evidenció el hecho de que más de la tercera parte de los departamentos tenían jefes con un título relacionado con la ingeniería industrial. El nueve por ciento de estos departamentos eran títulos orientados exclusivamente a la productividad.

Setenta y dos por ciento de las empresas industriales incluidas en la encuesta tienen programas formales de mejora de la productividad. Cuarenta y uno por ciento de estos programas estaba situado a nivel corporativo, mientras que 48 por ciento estaba a nivel de planta o división.

6.3 PRODUCTIVIDAD, INGENIERIA INDUSTRIAL E INVESTIGACION DE OPERACIONES

Como lo indica el porcentaje relativamente alto de departamentos de productividad relacionados con la Ingeniería Industrial en la encuesta de Sumanth y Einspruch, existe una relación muy fundamental entre la productividad y la disciplina de la Ingeniería Industrial e investigación de operaciones. Esencialmente, la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones es la práctica del análisis y la mejora de la productividad. Aunque las áreas como la Ingeniería Económica y la medición del trabajo, el analista de Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones ha desarrollado y utilizado métodos para medir y analizar la productividad, esencialmente a nivel de lugar de trabajo, más que a nivel de empresa. Esto ha incluido la observación de medidas como la cantidad de tiempo necesario para producir una parte en una máquina, es decir, la productividad registrada de una operación.

Mejorar la productividad de operaciones de planta es un objetivo esencial de la mayoría de los métodos y estudios de II/O. Aunque usualmente se emplean términos como "mejora de eficiencia" o "reducción del costo unitario", en lugar de "mejora de la productividad", el resultado es el mismo. Esto es un hecho en todas las actividades de la ingeniería industrial tradicional, así como en todas las técnicas de investigación de operaciones descritas en capítulos anteriores. Por ejemplo, la teoría de líneas de espera, se usa, con frecuencia para encontrar la manera de aumentar la producción en caso que tenga un número fijo de servidores.

Como se podrá notar, todas, las técnicas utilizadas en investigación de operaciones buscan o tienen como fin minimizar costos y maximizar en gran manera las utilidades de cualquier organización. Básicamente los modelos y técnicas descritos buscan de cualquier forma aumentar la productividad en cualquier área específica.

6.4 MEDICION DE LA PRODUCTIVIDAD

Para este estudio, se centrará en las medidas cuantitativas del nivel de productividad de una planta o negocio específico, en lugar de las productividades de una estación de trabajo o, en el otro extremo, la productividad nacional. Es decir, que el punto importante aquí es la medición de la productividad a nivel empresarial. En particular, el tratamiento incluye una descripción de los modelos empleados en las dos clases básicas de medidas - medidas parciales o medidas de factor múltiple o totales-.

6.4.1 Medidas parciales.

No existen definiciones formales o universalmente aceptadas de las medidas de la productividad. Las empresas definen sus propias medidas adecuadas a la naturaleza de su negocio. Sin embargo, estas medidas se expresan generalmente como una razón de un indicador de rendimiento o producción respecto a un indicador de los insumos consumidos en la producción de dicho rendimiento.

Estas razones las define una organización de manera que aclaren una función específica o recurso dentro de la empresa, en vez de la productividad integrada por todos los recursos usados por la empresa. Estas razones se denominan medidas parciales de productividad, porque sólo reflejan parte del panorama total de productividad de la organización.

En general, estos tipos de razones parciales de productividad empleados por una organización se pueden agrupar en dos áreas básicas de acuerdo con su cobertura:

1. **Razones de conjunto:** éstas se usan para capturar la productividad de toda la organización en vez de un departamento o función específica. Razones típicas de este tipo de medidas son (ventas)/(empleado) o (utilidad)/(capital empleado), o (graduados universitarios)/(número de profesores).
2. **Razones objetivas:** éstas son razones que reflejan la productividad de una actividad o área específica en la organización. Una medida como ésta se puede establecer para vigilar el desempeño de una actividad en proceso en la organización, como el mantenimiento del registro de la eficiencia laboral semanal del departamento de colado de una fundición. Además, una medida como ésta se puede usar para registrar el desempeño de un proyecto pasado en términos de metas y objetivos predefinidos del proyecto. Razones objetivas típicas son (número de proyectos de capital concluidos)/(número de proyectos iniciados), (toneladas de productos fundidos)/(número de horas-hombre trabajadas en el departamento de colado).

6.4.2 Medidas del factor total.

En gran medida, el enfoque más común para vigilar la productividad en una organización es mediante el uso de una o más medidas parciales de productividad. Usualmente, éstas se concentran en la productividad de la mano de obra, más que en otros recursos, como materias primas y materiales. Sin embargo, algunas empresas emplean modelos o medidas que incorporan los efectos de varios recursos o insumos simultáneamente.

Estos modelos se denominan factor total o modelos de factor múltiple. Estas medidas ofrecen las ventajas de expresar el impacto en el producto del efecto de cambios en varios factores diferentes, y no en un solo factor como la mano de obra.

Tal vez el primer modelo de productividad de factores múltiples que se defendió más ampliamente fue el sugerido por Craig y Harris. Su modelo para medir la productividad en el periodo t es:

$$P_t = \frac{O_t}{I_{L_t} + I_{C_t} + I_{M_t} + I_{A_t}} \quad (6.4)$$

donde:

Q_t = producción de unidades buenas producidas en el período t , medida en deflación o en año base.

I_{Lt} = valor del dinero en año base de toda la mano de obra consumida en el período t .

I_{Ct} = valor del dinero en año base de capital consumido en el período t .

I_{Mt} = valor del dinero en año base de materia prima consumida en el período t .

I_{ot} = valor del dinero en año base de materiales consumidos en el período t .

La cantidad de salida usada en la ecuación (6.4) es la suma del valor en deflación del dinero en unidades producidas en cada línea de producto, no unidades vendidas. Esta cantidad incluye también ingresos generados por la empresa provenientes de fuentes ajenas a la producción, como rentas e ingresos de inversiones externas. Los cuatro factores de entrada representados son comunes a la mayoría de las organizaciones.

6.5 COMO MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD

La medición y el análisis de cuán productiva es una organización es conveniente para una importante función administrativa. Proporcionan un panorama de las maneras en que se pueden mejorar las utilidades, además de motivación y control de esta mejora. Pero, ¿cómo mejorar exactamente la productividad? La respuesta es sencilla, aunque compleja. Existen muchas actividades y mecanismos que influyen en la productividad de una operación o de un conjunto de operaciones específico. Estas van desde la mejora de la capacitación interpersonal para supervisores hasta el reemplazo de operaciones de transferencia manual de materiales por robots. En general, cualquier cambio que se haga por reducir el tiempo, los materiales, el esfuerzo, etc., necesario para realizar determinado trabajo, contribuye a mejorar la productividad. También se pueden lograr mejoras mediante el incremento de la tasa de producción de un trabajo, mientras se mantienen constantes los insumos —como el reemplazo de una materia prima existente por otra que produzca piezas terminadas con menores pérdidas y, por lo tanto, una mayor producción de unidades buenas.

La función esencial de la disciplina de la ingeniería industrial y la investigación de operaciones consiste en mejorar la productividad, por lo se dedica a lograr dicho objetivo. La obra pionera de Fredrick Taylor sobre la simplificación del trabajo y la estandarización de las tareas es un ejemplo prematuro de la aplicación de la metodología de la ingeniería industrial al mejorar la razón entre insumo y producto de las operaciones industriales. Estos esfuerzos se manifestaron en las primeras líneas de ensamble de Henry Ford -logrando tal incremento de la productividad que los automóviles se hicieron accesibles a la gente en general y no sólo a los ricos.

6.5.1 Recursos de la Ingeniería Industrial Tradicional para mejorar la productividad.

Todas las técnicas y recursos de la ingeniería industrial que se podrían enumerar son para mejorar la productividad. Por ejemplo, los modelos gráficos como los diagramas de flujo de proceso y los de mano izquierda y mano derecha son para mejorar la productividad. Específicamente, se usan como auxiliares para encontrar áreas en que se está desperdiciando tiempo y esfuerzo.

Se citan ejemplos específicos de efecto de los recursos de la ingeniería industrial tradicional en la productividad.

1. Planeación de productos y proceso.
2. Medición del trabajo/Métodos de trabajo.
3. Incentivos salariales.

Recursos de la investigación de operaciones para mejorar la productividad.

1. Optimización clásica (modelos matemáticos).
2. Programación matemática.
3. Teoría de líneas de espera
4. Teoría de inventarios

CONCLUSIONES

1. Es importante saber cómo poder establecer la relación entre la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones, para poder lograr resultados más cercanos al punto óptimo que se tiene fijado dentro de un pronóstico.
2. Las estrategias y técnicas que se desarrollaron en este trabajo son de gran importancia para facilitar ciertos cálculos en la medición de actividades productivas y de servicio.
3. El control de inventarios es un aspecto de gran relevancia en cualquier plan de producción o de servicio, ya que si no se tiene establecido un control de materia prima y producto terminado, se incurre en costos de producción que afectarán la utilidad de la empresa.
4. Es importante el tener conciencia en la ejecución de planes para el control de calidad en el proceso y el muestreo de aceptación en el producto final y de los servicios que se presten, según sea el caso en estudio, para lograr maximizar los resultados que de ellos se obtengan, y asimismo tomar las decisiones correctivas necesarias.
5. La productividad es un aspecto que debe analizarse y controlarse de la mejor forma posible, y esto puede lograrse en una correcta aplicación de las técnicas que nos dan la Ingeniería Industrial y la Investigación de Operaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. BAUMOL, WILLIAM. Teoría Económica y Análisis de Operaciones. Colombia: edit. Prentice/Hall Internacional, 1980. 350 pp.
2. DAELLENBACH HANS, JOHN GEORGE. Introducción a Técnicas de Investigación de Operaciones. 2da., Reimpresión. México: Compañía editorial Continental, 1987. 300 pp.
3. EPPEN, G.D. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. México: edit. Prentice-Hall Hispanoamericana, 1987. 400 pp.
4. LEVIN, RICHARD. Enfoques Cuantitativos a la Administración. 4ta., Reimpresión. México: edit. Compañía editorial Continental, 1987. 387 pp.
5. SASIENI, MAURICE. Investigación de Operaciones (Métodos y Problemas). 9a., Reimpresión. México: edit. Limusa, 1986. 358 pp.
6. SUMANTH, DAVID J. Ingeniería y administración de la Productividad. 3ra. Reimpresión. México: edit. Mc Graw-Hill, 1990. 547 pp.
7. TAHA, HAMDY. Investigación de Operaciones. 5/e. México: edit. Representantes y Servicios de Ingeniería, 1988. 380 pp.