

01167
5



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

"DISEÑO DE UN MODELO MATEMATICO PARA LA
PLANEACION DE LA PRODUCCION BASADO EN LA TEORIA
JUSTO A TIEMPO".

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRA EN INGENIERIA
DE SISTEMAS (PLANEACION)**
P R E S E N T A :
NORA GAVIRA DURON

DIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL ORDORICA MELLADO



CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO 2003

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

o



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Antecedente a la Dirección General de Bibliotecas
UNAM a difundir en formato electrónico el
contenido de mi trabajo rece

NOMBRE: Nara Gavira Durón

FECHA: 20 de Junio de 2003

FIRMA: [Firma manuscrita]

A MIS HIJOS:

**JOSÉ LUIS
CARLOS ALBERTO
Y FERNANDO RAFAEL**

A MIS PADRES:

**GUADALUPE DURÓN JIMÉNEZ
RAFAEL GAVIRA ARIZTIZABAL**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

GRACIAS:

A Dios por darme la vida y tres hijos maravillosos para compartirla.

A mis padres por enseñarme el amor a los libros.

A mis hijos que son el motor que me impulsa a seguir adelante, a ustedes que me regalaron la dicha de tener mi propia familia, por todo el amor y ternura incondicional que me dan. En dondequiera que se encuentren están siempre presentes en mi mente y en mi corazón, su sonrisa y mirada tierna me acompañan siempre.

A Fernando por enseñarme toda la fuerza que llevo dentro y por su cariño.

A Pepe y Ángeles por su amistad y por el cariño que dan a mis hijos.

A mis hermanos Adriana, Rafael y Miriam por compartir conmigo la aventura de la niñez.

A la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM por permitirme continuar con mi preparación académica.

Al Dr. Ricardo Aceves García por el apoyo recibido para realizar mis estudios de maestría, aún con un bebé en brazos.

Al Dr. Sergio Fuentes Maya y al Maestro Javier Suárez Rocha, por toda su paciencia, apoyo y confianza a pesar del tiempo transcurrido.

Al Dr. Francisco Venegas-Martínez por la amistad, confianza y apoyo que me ha brindado siempre.

A la Dirección General de Estudios de Postgrado por todo el apoyo recibido para realizar mis estudios de maestría y en especial a la Maestra Artemisa Pedrosa de De Gortari, Coordinadora del programa de Superación Académica, y a la Licenciada Alba Linda Cruz Román por darme su amistad, paciencia y confianza.

A todas mis amigas por escucharme y apoyarme.

"Diseño de un modelo Matemático para la Planeación de la Producción Basado en la Teoría Justo a Tiempo."

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
CALIDAD	
1.1 Evolución de la calidad	3
1.1.1 Gurus de la calidad	3
1.1.2 Premios de calidad.....	6
1.1.3 Certificación de calidad	7
1.2 Dimensiones de la calidad	9
1.3 Consecuencias de la no calidad	11
1.4 Costo de calidad	12
1.4.1 Importancia del costo de calidad	13
1.4.2 Costos de fallas internas	14
1.4.3 Costos de fallas externas	14
1.4.4 Costos de apreciación o valoración	15
1.4.5 Costos de prevención	15
CAPITULO II	
CONTROL DE CALIDAD	
2.1 Inspección	17
2.1.1 Cuando inspeccionar y con que frecuencia	18
2.1.2 Donde Inspeccionar en el proceso	19
2.2 Administración de la calidad total	20
2.2.1 Solución de problemas	21
2.2.2 Mejoramiento de procesos	21
2.2.3 El ciclo planear- hacer- estudiar – actuar	22
2.2.4 Herramientas	22
2.2.5 Métodos para generar ideas.....	27
2.3 Control Estadístico del proceso	29
2.3.1 El control del proceso	29
2.3.2 Variaciones y control	30
2.3.3 Cartas de control	32
2.3.4 Cartas de control por variables.....	32
2.3.4.1 Cartas de control de medias	33
2.3.4.2 Cartas de control de rangos	36
2.3.4.3 Uso de las cartas de medias y rangos	37
2.3.5 Cartas de control por atributos	38
2.4 Capacidad del proceso	43
2.4.1 Análisis de la capacidad	43

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

SELECCIÓN DEL PROCESO Y CAPACIDAD DE LA PLANTA

3.1 Selección	46
3.1.1 Hacer o comprar	47
3.1.2 Tipo de operación	48
3.1.3 Automatización	50
3.1.4 Planeación de la capacidad	52
3.1.4.1 Importancia de la decisión de capacidad	52
3.1.4.2 Definición y medida de la capacidad	53
3.1.4.3 Determinantes de la capacidad efectiva	54
3.1.4.4 Determinantes de los requerimientos de capacidad	55
3.1.4.5 Desarrollo de alternativas de la capacidad	55

CAPITULO IV

JUSTO A TIEMPO

4.1 Introducción	57
4.2 Definición de Justo a Tiempo	59
4.3 Producción Justo a Tiempo	63
4.4 Filosofía del JIT, como opera y beneficios	65
4.5 Relación entre el JIT y la calidad	68
4.6 Sistema KAMBAN	69
4.7 JIDOKA Calidad en el proceso y autocontrol de defectos	69
4.8 Sistemas de control de producción JIT	71
4.8.1 Redes de fábricas especializadas	71
4.8.2 Tecnología de grupos	71
4.8.3 Carga uniforme de la planta	72
4.9 Ejemplos de aplicación del JIT	73
4.10 Justo a Tiempo II	74

CAPITULO V

CREACIÓN DEL MODELO DE PRODUCCIÓN.

5.1 Introducción	76
5.2 Creación del modelo	81
5.2.1 Determinación de los requerimientos de maquinaria	81
5.2.1.1 Requerimiento de tiempo maquina mensual	81
5.2.1.2 Requerimiento de maquinaria mensual	82
5.2.1.3 Análisis del costo mensual del número de máquinas	83
5.2.2 Distribución de la maquinaria	84
5.2.3 Nivelación de la cantidad de productos a fabricar	84
5.2.4 Estandarización de la producción	85
5.2.5 Determinación del número de operarios	86
5.2.6 Determinación de la secuencia en la línea de montaje	87
5.3 Alcances y ventajas del modelo	88
5.4 Restricciones del modelo	89

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO VI.

ESTUDIO DE CASO

6.1 Características de la empresa y de la planta	90
6.2 Determinación de la cantidad de maquinaria	91
6.2.1 Número de maquinas para la estación de corte	91
6.2.2 Número de maquinas para la estación de doblado	96
6.2.3 Número de maquinas para la estación de sold. de punto	101
6.2.4 Número de maquinas para la estación de soldadura eléctrica.....	106
6.2.5 Número de maquinas para la estación de pintura	111
6.3 Distribución de la maquinaria	116
6.4 Nivelación de la cantidad de productos a fabricar	118
6.5 Determinación del número de operarios	119
6.6 Determinación de la secuencia de línea de montaje	121
6.7 Cálculo de la secuencia óptima de producción	123
CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	137

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

Muchos Gerentes se preguntan como pueden hacer triunfar sus empresas en un ambiente competitivo, global y rápidamente cambiante; del mismo modo, como desarrollar e implementar estrategias operativas orientadas a la satisfacción del cliente.

El objetivo principal del trabajo de investigación es el de crear un modelo matemático, mediante programación dinámica, basado en la teoría Justo a Tiempo, que represente un sistema de producción de una empresa metal mecánica, multiproducto, con el cual se puedan determinar estrategias operativas para mejorar la competitividad de dicha empresa.

La problemática a tratar es el mejoramiento de la competitividad de una empresa, analizando las causas internas y externas que influyen en la productividad de la empresa y la flexibilidad con que trata los cambios en la demanda y el gusto del cliente.

Esto implica el diseño de un sistema productivo centrado plenamente en la satisfacción del cliente y el uso de una tecnología de producción comprometida con la Administración de la Calidad Total como es el Justo a Tiempo. El aporte fundamental de esta teoría es la capacidad de la planta de manufacturar los productos con calidad y a la primera, con lo que se ahorra tiempo y costos de remanufactura.

Para realizar un sistema de producción que relacione el número de artículos, de cada tipo a producir y el tiempo en que deben producirse se requiere el apoyo de la programación dinámica para realizar el modelo matemático que lo represente.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

En el modelo se consideran los factores internos de la empresa, que influyen en la producción, como son el tiempo de planeamiento de la producción, el tiempo de producción, el número de máquinas mínimas necesarias, el número de operarios, la distribución en la planta y la demanda esperada de los productos, entre otros.

Se pretende que el modelo sirva de ayuda para la toma de decisiones estratégicas y tácticas en la implementación de procesos de calidad relacionadas con los métodos de trabajo, almacenamiento de productos en proceso y finales, tipos de equipo, secuencia de operaciones y ambiente social de trabajo.

Se trata de demostrar que se puede implementar sistemas de producción Justo a Tiempo en las empresas mexicanas y que el modelo sirva para implementar una tecnología que permita el menor número de productos en inventario sin que esto afecte el cumplimiento de la demanda.

En el estudio de caso se considera una micro empresa multiproducto, del área metal mecánica, en la que se producen dos tipos de artículos, escritorios auxiliares para oficina y mesas para computadora; en donde los operarios son polivalentes y pueden operar más de una máquina. Se implementa un modelo que permite la flexibilidad de la producción, con lo que la empresa se adapta a los cambios de la demanda y los gustos del cliente para lograr ser competitiva.

El modelo determina el número de máquinas necesarias para cada estación de trabajo en la línea de producción, el número de operarios para cada estación, la cantidad de artículos a producir diariamente y la secuencia de inicio a fin en la línea de producción para los artículos a producir y el costo mensual por máquina; se presenta un plan de producción semestral que se satisface la demanda y se evitan costos excesivos de inventario. Con lo anterior se espera obtener el diseño de un sistema productivo centrado plenamente en la competitividad de una empresa multiproducto y la satisfacción del cliente.

CAPITULO 1. CALIDAD.

Definida en forma general, **calidad** es la habilidad de un producto o servicio para constantemente satisfacer o exceder las expectativas del cliente. Calidad significa obtener lo que se espera por lo que se paga.

1.1 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD

Antes de la revolución industrial, hábiles artesanos desempeñaban todas las etapas de producción. El orgullo de la habilidad en el trabajo y su reputación frecuentemente proveía la motivación necesaria para ver que el trabajo se hiciera en forma correcta.

La revolución industrial fue acompañada de una división del trabajo; cada trabajador era responsable solamente de una pequeña porción de cada producto. La responsabilidad del control de calidad recaía en los supervisores.

1.1.1 Gurus de la Calidad

Frederick W Taylor, "el padre de la administración científica", en 1881 dio nuevo énfasis en la calidad al incluir la inspección del producto e indicadores en su lista de áreas fundamentales de la administración de la producción.

En 1924, **W. Shewhart** de Bell Telephone Laboratories introdujo las cartas de control estadístico que fueron usadas para monitorear la producción. En 1930, se introdujeron tablas para la aceptación de muestras. Sin embargo, los procedimientos de control estadísticos de calidad no fueron ampliamente usados hasta la segunda guerra mundial. La segunda guerra mundial causó un incremento dramático en el énfasis en el control de calidad.

Durante los 50's, el movimiento de calidad evolucionó al aseguramiento de la calidad, **W. Edwards Deming** profesor de estadística de la universidad de Nueva York, en los años 40's viaja a Japón, después de la segunda guerra mundial, para asistir a los japoneses en el mejoramiento de la calidad y productividad. Introdujo métodos de control estadístico de calidad a las manufactureras japonesas, con la promesa de que esto ayudaría a reconstruir su base de producción y competir con los mercados mundiales.

Deming compiló una lista de 14 puntos que cree son la prescripción necesaria para lograr calidad en una organización:

1. Crear perseverancia con el propósito de mejorar productos y servicios.
2. Adoptar la nueva filosofía.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

3. Dejar de depender de la inspección para lograr calidad.
4. Mejorar de manera permanente y constante el sistema de producción y servicio con el fin de alcanzar la calidad y productividad, y así reducir los costos.
5. Eliminar las barreras que le quitan al trabajador su derecho a sentir orgullo por su trabajo.
6. Desechar el miedo, de tal manera que cada uno pueda trabajar con eficacia para la compañía.
7. Destruir las barreras entre departamentos.
8. Instituir un programa moderno de capacitación.
9. Eliminar lemas y objetivos numéricos que solicitan a los trabajadores cero defectos y nuevos niveles de productividad sin los métodos para lograrlo.
10. Eliminar los estándares de trabajo (cuotas) en planta, sustituirlos por liderazgo.
11. Implantar liderazgo.
12. Instituir un programa vigoroso de educación y automejora.
13. Acabar con la práctica de hacer negocios con base en el precio.
14. Crear una estructura en la alta administración que lleve cada día a lograr los 13 puntos anteriores.

Su mensaje es que la falta de eficiencia y falta de calidad se encuentra en el sistema y no en los trabajadores. La responsabilidad de la administración es corregir el sistema para alcanzar los resultados deseados. Deming se enfoca en la necesidad de reducir las variaciones en la salida (desviaciones del estándar), con lo cual puede ser realizada una distinción entre causas especiales de variación (corregibles) y causas comunes (causales). Él cree que el mayor reto de la administración en lograr calidad está en motivar a los trabajadores para contribuir en un esfuerzo colectivo para alcanzar una meta común.

También en los años 50's, **Joseph M. Juran** inició con su enfoque en los "costos de calidad", enfatizando la exactitud y la completa identificación y medición de los costos de calidad.

Enseñó a las fábricas japonesas como mejorar la calidad de sus bienes. Su enfoque difiere en la importancia de métodos estadísticos y lo que una organización debe hacer para lograr calidad. Su punto de vista de calidad inicia conociendo lo que el cliente desea.

Juran ve a la calidad como aptitud al uso. También cree que aproximadamente el 80% de los defectos de calidad son administrativamente controlables, por lo que la administración tiene la responsabilidad de corregir estas deficiencias.

Describe la administración de la calidad en términos de una trilogía consistente de planeación de la calidad, control de calidad y mejoramiento de la calidad. La planeación de la calidad es necesaria para establecer procesos que sean capaces de alcanzar los estándares de calidad; el control de calidad es necesario para cuando son necesarias acciones correctivas; y el mejoramiento de calidad nos ayuda a encontrar mejores formas de hacer las cosas. Un elemento clave de la

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

filosofía de Juran es el compromiso de la administración a la mejora continua proponiendo los siguientes pasos para mejorar la calidad:

1. Conozca las necesidades y oportunidades de mejora.
2. Establezca metas de mejora.
3. Organice a la gente para alcanzar las metas.
4. Provea entrenamiento a través de la organización.
5. Realice proyectos para resolver problemas.
6. Reporte los progresos.
7. De reconocimientos.
8. Comunique los resultados.
9. Mantenga registros.
10. Haga de la mejora parte de los sistemas y procesos de la compañía.

En los 60's, **Philip Crosby** desarrolló el concepto "cero defectos", el cual se enfoca en la motivación de los empleados y la expectación de perfección de cada empleado. Popularizó la frase "hacerlo bien desde la primera vez". Enfatiza en la prevención y va contra la idea de que siempre habrá algún nivel de defectuosos".

Algunos de sus puntos clave son:

1. La alta gerencia debe demostrar su compromiso con la calidad y brindar el soporte para alcanzarla.
2. La administración debe ser persistente en los esfuerzos para alcanzar la calidad.
3. La administración debe explicar clara y detalladamente que desea en términos de calidad y que deben hacer los trabajadores para llegar a eso.
4. Hacer las cosas bien desde la primera vez.

Crosby asegura que la calidad es Gratis, esto es, que los costos de la no calidad son mucho mayores de lo que tradicionalmente se definen.

En los 70's los métodos de aseguramiento de calidad incrementaron su énfasis en servicios, incluyendo las operaciones de gobierno, cuidados de la salud, bancos y turismo.

A finales de los 70's la evolución de la calidad tomó un dramático cambio de aseguramiento de la calidad a un enfoque estratégico hacia la calidad. Hasta ese momento el principal énfasis habla sido encontrar y corregir defectos antes de que llegaran al mercado. El enfoque estratégico es proactivo enfocándose que los errores ocurran en conjunto. Este enfoque también da gran énfasis en la satisfacción del cliente e involucra a todos los niveles, tanto administradores como trabajadores, en un continuo esfuerzo por mejorar la calidad.

Armand Feigenbaum en 1951, reconoció que la calidad no era simplemente una colección de técnicas y herramientas, sino un "campo total". Observó que cuando se hacían mejoras a un proceso, otras áreas de la compañía también llevaban a cabo mejoras. El entendimiento de Feigenbaum de la teoría de sistemas le permitió crear un ambiente en el cual la gente podía aprender del éxito de otros.

Sus ideas claves son:

1. El control total de calidad es un sistema para el desarrollo integral de la calidad, mantenimiento y los esfuerzos de mejora en una organización deben ser capaces de funcionar en niveles óptimos económicamente mientras logra la satisfacción del cliente.
2. El control de calidad involucra establecer estándares de calidad, evaluar el desarrollo relativo a esos estándares, tomando acciones correctivas cuando no se cumplan los estándares y la planeación del mejoramiento de los mismos.
3. Los factores que afectan la calidad pueden ser divididos en dos categorías principales: tecnológicos y humanos. Siendo el humano el más importante.
4. Los costos de operar la calidad pueden ser divididos en 4 categorías: Costos de prevención, de apreciación, de fallas internas y fallas externas.
5. Es importante el control de calidad desde el principio.

Para él, el cliente es quien define la calidad, por lo que en su filosofía las compañías deben conocer a sus clientes de tal forma que puedan anticipar sus necesidades futuras.

En los años 60's **Kauro Ishikawa** desarrolló el diagrama de causa-efecto (espina de pescado) para la solución de problemas y para implementar círculos de calidad que involucren a los trabajadores en la mejora de la calidad. Fue el primero en poner atención a los clientes ya que forman parte del proceso.

En los 80's **Genichi Taguchi** es conocido por la creación de la función de pérdida, la cual involucra una fórmula para determinar el costo de la no calidad. La idea es que la desviación del estándar de las partes causa una pérdida; y combinando los efectos de todas las partes ésta puede ser muy grande.

1.1.2 Premios de Calidad

a) El premio Baldrige

Su propósito es estimular los esfuerzos para mejorar la calidad, para reconocer los logros en la calidad de las compañías en los Estados Unidos y para publicar programas exitosos.

La evaluación de los candidatos incluye una visita al lugar y son evaluados en liderazgo, manejo y análisis de información, planeación estratégica, administración de recursos humanos, aseguramiento de la calidad de productos y servicios, resultados y satisfacción del cliente.

b) **El premio Deming.**

Es el premio de mayor cobertura en el Japón reconociendo esfuerzos exitosos en calidad. El principal enfoque a ser juzgado es el control estadístico de calidad.

1.1.3 Certificación de calidad

✓ **ISO 9000**

Las ISO 9000 son una familia de normas internacionales para gestionar la calidad ya que tienen por objetivo desarrollar, implementar y mejorar los sistemas de calidad en las empresas; afectan tanto a productos como a servicios. En las ISO 9000 se da énfasis a la satisfacción de las necesidades del cliente, para aplicarlas se necesita el compromiso y la participación de todos los trabajadores. También es necesario una amplia información y una formación adecuada.

El propósito de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) es promover estándares a lo largo del mundo, que mejoren la eficiencia en la operación, mejoren la productividad y reduzcan costos.

La serie ISO 9000 es un grupo de estándares internacionales en administración y aseguramiento de calidad. Estos estándares son críticos para hacer negocios internacionalmente, particularmente en Europa. El proceso toma de 12 a 18 meses y con la certificación se registra a la empresa en un directorio ISO para que quienes busquen proveedores conozcan las compañías certificadas.

Un requerimiento clave para el registro es que la compañía revise, refine y esquematice funciones tales como control de procesos, inspección, compras, entrenamiento, empaçado y entregas.

La certificación ISO 9000 y el proceso de registro es particularmente útil para las compañías que no tienen actualmente un sistema de administración de calidad proporcionando guías para establecer el sistema y hacerlo efectivo.

La **norma ISO 9001** se aplica a empresas que diseñan, fabrican, ensayan, revisan, controlan y venden productos. Tienen servicio posventa.

La **norma ISO 9002** se aplica a empresas que fabrican, ensayan, y finalmente instalan. Tienen servicio posventa.

La **norma ISO 9003** se aplica a empresas que ensayan, finalmente revisan, controlan y venden, no diseñan ni fabrican. Tienen servicio posventa.

DESEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Cuando una empresa tiene implementado un sistema de calidad basado en una norma de la serie ISO 9000 puede solicitar que un organismo reconocido le certifique el sistema.

Los auditores realizan una visita previa a la empresa para constatar que lo expuesto en la documentación es cierto y detectar las precariedades, una vez obtenido el certificado el organismo certificador realiza una auditoría anual. Cada auditoría que se realice provoca un nuevo informe y si procede, un plan de acciones correctivas.

La certificación consiste en la emisión de un documento que atestigua la implementación del sistema de calidad que proporciona al cliente productos y o servicios libres de defectos y acorde a sus necesidades.

Cada 3 años se realiza una auditoría de renovación, en el caso de no superarla se retira el certificado y se pierden así todos los derechos que este otorga.

- ISO14000

Intenta fijar el desempeño de una compañía en términos de responsabilidad ambiental.

Los estándares para la certificación se apoyan en 3 áreas principales:

1. **Sistemas administrativos:** Desarrollo de sistemas e integración de responsabilidades ambientales a la planeación del negocio.
2. **Operaciones:** Consumo de recursos naturales y energía.
3. **Sistemas ambientales:** Medidas, daños y emisiones manejables y otros desperdicios.

1.2 DIMENSIONES DE LA CALIDAD.

La calidad de un producto o servicio depende del desempeño, principal característica de un producto o servicio; posteriormente de la estética en el diseño, lo que determina la apariencia, sentimiento, olor, sabor; las características distintivas son un extra en el producto.

Que tan bien el producto o servicio cubre las expectativas del cliente es lo que se conoce como conformancia y es un factor determinante en la calidad del bien o servicio, así como la seguridad del bien ya que hay que considerar los posibles riesgos de daño o perjuicio al consumidor.

La vida útil del producto o servicio, la confiabilidad, la calidad percibida por el consumidor y el servicio después de la venta son factores que incrementan la calidad de un producto y la necesidad del cliente hacia el mismo.

Lo que determina la calidad de un producto o servicio es el grado en que un producto o servicio satisface exitosamente los propósitos para los que fue creado.

Las determinantes primarias de la calidad son:

La calidad en el diseño: Se refiere a la intención de los diseñadores de incluir o excluir ciertas características en un producto o servicio. Las decisiones de diseño deben tomar en cuenta los deseos del cliente, la capacidad de un producto o servicio, seguridad y confiabilidad (ambas durante la producción y después de la entrega), costos y otras consideraciones similares.

Los diseñadores pueden determinar los deseos del cliente mediante investigaciones de mercado, en donde un grupo de consumidores expresan sus opiniones de un producto o servicio.

Calidad de conformancia o ajuste al diseño: Se refiere al grado en el cual los bienes o servicios se ajustan a la intención de los diseñadores. Esto es afectado por factores como la capacidad del equipo usado; las habilidades, entrenamiento y motivación de los trabajadores; el grado en el cual el diseño se deja a producción; el monitoreo de los procesos para fijar conformancia y la toma de acciones correctivas cuando es necesario.

Facilidad de uso: La determinación de la calidad una vez que el producto o servicio ha sido vendido o entregado es la facilidad de uso e instrucciones de uso del mismo, esto incrementa las oportunidades, pero no garantizan que el producto será usado de la forma en que fue diseñado y continuará funcionando en forma apropiada y segura.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Servicio después de la entrega: Por varias razones los productos no se desempeñan de la forma que se espera y los servicios no siempre obtienen los resultados deseados. Cualquiera que sea la razón es importante desde el punto de vista de calidad remediar la situación reparando, ajustando, reemplazando, reembolsando o reevaluando el producto o servicio y hacer cualquier cosa para incrementar el estándar del producto.

1.3 CONSECUENCIAS DE LA NO CALIDAD

La no calidad afecta a la organización ya que los malos diseños o productos defectuosos pueden resultar en pérdidas de negocios, así como fallas dañan las utilidades, la imagen de la organización y conduce a un decremento en el mercado; también puede incrementar la crítica y/o controles de agencias gubernamentales u organizaciones no lucrativas.

Las organizaciones deben poner especial atención a su confiabilidad potencial esperada en daños o prejuicios resultado de fallas en el diseño o confección. La productividad y calidad son frecuentemente relacionadas, la falta de calidad puede afectar en forma adversa la productividad durante los procesos de producción si las partes son defectuosas y deben ser retrabajadas, o si al ensamblar se tiene que intentar varias partes para encontrar una que se ajuste apropiadamente. Similarmente, fallas en el servicio puede significar tener que volver a dar el servicio y reducir su productividad.

Los conceptos mas usuales de costos de no calidad son: administración de quejas, ausentismo, aviso de cambios de ingeniería, costo por perjuicio, costo por reclamaciones de los clientes, cuentas incobrables, cuentas por cobrar vencidas, demandas por incumplimientos, desperdicios, devoluciones, errores de diseño, energía desperdiciada, errores de facturación, errores de impresión, errores de perforista, errores de procesamiento de datos, exceso de inventario, fletes especiales, garantías, mantenimiento correctivo, mermas, multas y recargos, reconciliación de cuentas, rediseños, repeticiones de la computadora, separar lo bueno de lo malo, servicios no planificados, tiempo improductivo, tiempo extra no planificado, etc.

A medida que se profundiza en el costo de la calidad se tiene que avanzar en la naturaleza del sistema contable de la compañía, a fin de que las cuentas utilizadas respondan a los requerimientos de información para la calidad; así como en la identificación de todos los costos asociados con la función de calidad y los reportes paralelos que apoyan a otras funciones, y en el concepto de un *óptimo* para los costos de calidad.

Bajo esta orientación, las dos fases mas importantes de un programa de mejora de costos de calidad son estimarlos en un punto estratégico del proceso, a fin de utilizar la información para justificar un programa de mejora de costos de calidad y con esto reducirlos; así como medir los costos de calidad y difundirlos, buscando que su conocimiento por parte de los directivos estimule la toma de decisiones y la conciencia de aquellos que deben ser evitados.

1.4 COSTO DE CALIDAD

No hay visión uniforme de lo que es costo de calidad y lo que debe ser incluido bajo este término. Las ideas acerca del costo de calidad han venido evolucionando rápidamente en los últimos años¹. Anteriormente era percibido como el costo de poner en marcha el departamento de aseguramiento de la calidad, la detección de costos de desecho y costos justificables.

Actualmente, se entiende como costos de calidad a los costos de diseño, implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de calidad de una organización, a los costos de la organización comprometidos en los procesos de mejoramiento continuo de la calidad y los costos de sistemas, productos y servicios frustrados o que han fracasado al no tener en el mercado el éxito que se esperaba.

Si bien es cierto que existen costos ineludibles, debido a que son propios de los procesos productivos o costos indirectos para que éstos se realicen, algunos autores, además de estas erogaciones, distinguen otros dos tipos de costos; el costo de calidad propiamente dicho, que es derivado de los esfuerzos de la organización para fabricar un producto o generar un servicio con la calidad ofrecida, el "costo de la no calidad", conocido también como el "precio del incumplimiento" o el costo de hacer las cosas mal o incorrectamente. Ambos conceptos se denominan bajo el concepto de costo de calidad.

Este último se define como los gastos producidos por ineficiencia o incumplimiento como son los reprocesos, desperdicios, devoluciones, reparaciones, reemplazos, gastos por atención a quejas y exigencias de cumplimiento de garantías, entre otros, los cuales son evitables.

Bajo esta óptica, los costos relativos a la calidad pueden involucrar a uno o más departamentos de la organización, así como a los proveedores o servicios subcontratados, al igual que a los medios de entrega del producto o servicio.

Esto significa que no están exentas de responsabilidad las áreas de ventas, mercadotecnia, diseño, investigación y desarrollo, compras, almacenamiento, manejo de materiales, producción, planeación, control, instalaciones, mantenimiento y servicio, etc.

¹ Antes de 1950, este concepto había sido aplicado a los costos de inspección, pero no a la amplia y general función de la calidad, es decir, a las actividades necesarias para lograr productos y servicios acordes al uso al que son destinados.

1.4.1 Importancia del Costo de Calidad.

El costo de la calidad no es exclusivamente una medida absoluta del desempeño, su importancia se basa en que indica en donde será más redituable una acción correctiva para una empresa.

En este sentido, varios estudios, autores y empresas señalan que los costos de calidad representan del 5 al 25 % sobre las ventas anuales. Estos costos varían según sea el tipo de industria, circunstancias en que se encuentre el negocio o servicio, la visión que tenga la organización acerca de los costos relativos a la calidad, su grado de avance en calidad total, así como las experiencias en mejoramiento de procesos.

Alrededor del 95% de los costos de calidad se desembolsan para cuantificar la calidad así como para estimar el costo de las fallas. Estos gastos se suman al valor de los productos o servicios que paga el consumidor y aunque este último sólo los percibe en el precio, llegan a ser importantes para él.

Cuando a partir de la información que se obtiene, se corrigen las fallas o se disminuyen los incumplimientos y reprocesos, la consecuencia de estos ahorros se ve en la disminución de los precios.

Por el contrario cuando no hay quien se preocupa por los costos, simplemente se repercute al que sigue en la cadena (proveedor – productor – distribuidor – intermediario - consumidor), hasta que surge un competidor que ofrece costos inferiores.

Muchos de nosotros hemos presenciado cuando por ejemplo un abarrotero devuelve al proveedor mercancía dañada o en mal estado, y el proveedor la acepta para su reemplazo; en lo que no siempre recapacitamos, es en que, el costo de esas devoluciones, que implica el regresar o destruir esas mercancías, el papeleo y su reposición al abarrotero, lo pagamos finalmente todos los clientes.

La no calidad incrementa costos extra en los que incurre la organización. Estos costos pueden ser clasificados en las categorías que se presentan a continuación.

1.4.2 Costos de fallas internas.

Costos relacionados a productos o servicios defectuosos antes de ser entregados a los clientes. Los principales costos por fallas internas son:

✖ **Desechos.** Pérdida neta en mano de obra y materiales, cuando los defectos del producto ocasionan que no pueda ser utilizado ni reparado económicamente.

✖ **Trabajos de reelaboración.** Costos de corregir defectos a fin de hacer los productos aptos para el uso, ya que algunas ocasiones los productos o servicios no cumplen al 100% las expectativas para el que fueron creados.

✖ **Doble ensayo.** Costo de la segunda inspección o ensayo de los productos que han tenido que ser reelaborados o reparados.

✖ **Tiempo de paro.** Costo de las instalaciones paradas a consecuencia de defectos (p. e., máquinas impresoras rotativas paradas debido a rotura de papel, aviones parados debido a la infidelidad).

✖ **Pérdidas de rendimiento.** Costos por rendimientos bajos en las estaciones de trabajo, dichos rendimientos pueden mejorar si se implementan controles de calidad.

✖ **Gastos de disposición.** Esfuerzo requerido para determinar si los productos no conformes son utilizables y decidir su disposición final.

1.4.3 Costos de fallas externas.

Costos relacionados a la entrega de productos o servicios que no cumplen el estándar a los clientes. Los principales costos por fallas internas son:

✖ **Atención de reclamaciones.** Todos los costos de investigación y atención de quejas justificadas atribuibles a productos o instalación defectuosos.

✖ **Material devuelto.** Todos los costos asociados a la recepción y sustitución de productos defectuosos devueltos a los proveedores.

✖ **Gastos de Garantía.** Todos los costos implicados en el servicio a los clientes de acuerdo a los contratos de garantía.

✖ **Concesiones.** Costos de negociaciones hechas a clientes debido a productos fuera de norma que son aceptados por el cliente. Incluyen pérdidas en ingresos debido a productos degradados para la venta como de "segunda".

1.4.4 Costos de apreciación o valoración.

Costos relacionados con mediciones, evaluaciones y a la auditoría de materiales, partes, productos y servicios para asegurar que se ajusta con los estándares de calidad.

Los principales costos de apreciación son:

✖ **Verificación de la recepción.** Costo de determinar la calidad de los productos de los proveedores, sea por inspección en el momento de su recepción, por inspección en origen u otros métodos de vigilancia.

✖ **Inspección y Prueba.** Costos de controlar la conformidad del producto a todo lo largo de su proceso de fabricación, incluyendo la aceptación final y el control de embalaje y expedición. Incluye los ensayos de vida útil, ambientales y de fiabilidad. También ensayos hechos por exigencia del cliente antes de enviar el producto a éste.

✖ **Mantenimiento de la precisión del equipo de prueba.** Incluye el costo operativo del sistema que mantiene calibrados los instrumentos y equipo de medición.

✖ **Materiales y servicios consumidos.** Incluye el costo de los productos consumidos en las pruebas destructivas, materiales consumidos, cuando sean importantes.

✖ **Evaluación de existencias.** Incluye los costos de probar productos almacenados en destino o en los propios almacenes para evaluar su posible degradación.

1.4.5 Costos de prevención.

Costos relacionados con reducir los problemas potenciales de calidad (programas de mejora de calidad, entrenamiento, monitoreo, recolección y análisis de datos y costos de diseño).

Los principales costos de prevención son:

✖ **Planificación de la calidad.** Se incluye aquí la amplia gama de actividades que forman colectivamente el plan general de calidad de la compañía, planes de inspecciones, de fiabilidad, del sistema de datos, manuales y procedimientos, etc.

✖ **Revisión de nuevos productos.** Incluye la corrección de propuestas de ofertas, evaluación de nuevos diseños, preparación de programas de prueba y

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

experimentación, y otras actividades para el control de calidad asociadas con el lanzamiento de nuevos diseños.

¥ **Adiestramiento.** Costos de programas de adiestramiento para lograr y mejorar los niveles de calidad, no importa que departamento sea el que reciba el adiestramiento.

¥ **Control de proceso.** Incluye aquella parte del control de procesos realizada para lograr la adecuación al uso, dicho control se considera aparte de la meta de productividad, seguridad, etc. (Esta separación a menudo es difícil).

Para la obtención y análisis de datos de calidad se utilizan Informes de calidad, que tienen el objetivo de resumir y proporcionar información sobre calidad para la media y alta dirección. Los proyectos de mejora tienen el objetivo de estructurar y desarrollar programas de evolución a nuevos niveles de realización, como son los programas de prevención de defectos, programas de motivación, etc.

CAPITULO 2: CONTROL DE CALIDAD.

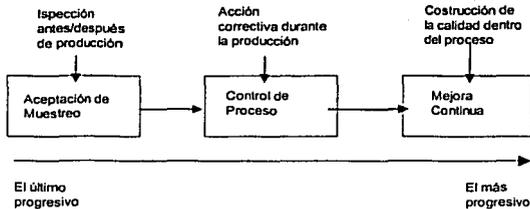
El propósito del control de calidad es asegurar que el proceso se desarrolle de manera adecuada y óptima.

2.1 INSPECCIÓN

El aseguramiento de la calidad se basa primeramente en la inspección, posteriormente en la producción, para lo que se utiliza el muestreo de aceptación.

El control de calidad que ocurre durante la producción se denomina control estadístico del proceso.

En el siguiente cuadro se muestran las fases de aseguramiento de la calidad, desde el momento en que se realiza la inspección de los productos semi-elaborados, hasta la verificación de la calidad o la aplicación de una acción correctiva que lleve a la calidad del producto final:



El monitoreo en los procesos se realiza principalmente en tres puntos: antes de la producción, durante la producción y después de la producción. Antes de la producción asegura que los insumos son aceptables, durante la producción asegura que la conversión de los insumos a productos esta ocurriendo de una manera aceptable y con el fin de verificar la conformidad de los productos se realiza una inspección final antes de que estos lleguen a manos de los clientes.

El monitoreo de la producción antes/después involucra procedimientos de aceptación de muestreo; el muestreo durante el proceso de producción es referido como control del proceso.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

En el siguiente cuadro se muestran las fases en que se realizan muestreos de aceptación para monitorear la calidad en el proceso:



El propósito de la inspección es proveer información del grado en el cual los productos conforman los requerimientos de una norma. Los problemas básicos relacionados con la inspección son:

1. Cuándo inspeccionar y la frecuencia.
2. En que puntos del proceso debe ocurrir la inspección.
3. La decisión de inspección centralizada o en sitio.
4. La decisión de inspeccionar atributos o variables.

Cabe mencionar que desde el punto de vista económico no es recomendable realizar inspecciones en cada punto del proceso, de aquí que surja la pregunta de en que puntos se debe llevar acabo la inspección.

2.1.1 Cuanto inspeccionar y con que frecuencia.

La cantidad de puntos de inspección puede variar, desde no realizar inspección hasta realizarla sobre cada producto más de una vez.

Productos de bajo costo y alto volumen como clips para papel, clavos, lápices de madera, etc. frecuentemente requieren poca inspección debido a que el costo asociado con el paso de un producto defectuoso es bajo y el proceso de producción de estos artículos es generalmente confiable, por tanto es difícil encontrar defectos.

Por otro lado tenemos que artículos de alto costo y bajo volumen tienen asociados elevados costos por dejar pasar alguno defectuoso y frecuentemente requieren inspección más intensa.

El costo de inspección, resultado de interrupciones o demoras en el proceso muchas veces sobre pasa los beneficios de llevar a cabo una inspección al 100%, sin embargo el costo de enviar artículos defectuosos es lo suficientemente alto para que la inspección no puede ser eliminada del todo.

2.1.2 Donde inspeccionar en el proceso.

En la manufactura, algunos de los puntos típicos de inspección son:

Materia prima y partes compradas. No tiene sentido alguno pagar por bienes que no cubren los requerimientos establecidos por el sistema de calidad.

Productos terminados. La satisfacción del cliente, así como la imagen de la compañía son de importancia en este punto, llevar a cabo reparaciones o reemplazos en campo algunas veces resulta mas caro que realizarlo en la fabrica.

Antes de una operación costosa. Lo importante es no desperdiciar mano de obra costosa y/o tiempo disponible de las máquinas en artículos semifabricados que se detectan defectuosos.

Antes de un proceso irreversible. En algunos puntos de control, los artículos pueden ser retrabajados para lograr la calidad, posterior a ciertos puntos en la línea de producción resulta imposible.

Antes de un proceso de cobertura. Controlar la calidad del producto antes de ser pintado, platinado, ensamblado, etc.

Inspección centralizada vs en sitio.

Algunas situaciones requieren desarrollar la inspección en el sitio de producción, en otras ocasiones la inspección debe llevarse a cabo en laboratorios especializados. La decisión de cuales inspecciones se deben realizar en sitio y cuales en un laboratorio especializado, se determina al analizar si el uso del laboratorio brinda beneficios mayores en valor y tiempo sobre la inspección en sitio para el mejor funcionamiento del proceso de producción.

2.2 ADMINISTRACIÓN TOTAL DE CALIDAD (TQM).

La administración total de la calidad (TQM por sus siglas en inglés) es una filosofía que involucra a todos los empleados de la organización en un esfuerzo continuo para mejorar la calidad y lograr la satisfacción del cliente.

El enfoque de TQM determina lo que los clientes desean, por medio de técnicas que integran la voz del cliente en el proceso de toma de decisiones. Con lo que se incluye al cliente en el proceso de diseño y calidad. Diseñar un producto o servicio que logre (o exceda) los deseos del cliente lo hace más fácil de usar y de producir.

Diseñar el proceso de producción que facilite hacer el trabajo bien desde la primera vez, ayuda a determinar donde pueden ocurrir los errores y tratar de prevenirlos; así como tener un registro de los resultados y usarlo como guía para el mejoramiento del sistema. También trata de extender estos conceptos a proveedores y distribuidores para mejorar la calidad y precio de los insumos.

Otros elementos importantes de la administración total de la calidad son:

Mejora continua : Es la filosofía que busca realizar un mejoramiento continuo a los procesos de convertir insumos en productos.

Benchmarking competitivo : Involucra identificar las compañías con los mejores resultados y estudiar como ellos aprendieron a mejorar sus operaciones.

Facultad de los empleados : Dando a los trabajadores la responsabilidad para el mejoramiento y la autoridad para hacer cambios, generando una fuerte motivación en los empleados.

Enfoque de equipo : El uso de equipos para resolver problemas y a través del consenso toma ventaja de la sinergia del grupo, involucrando a la gente, y promoviendo un espíritu de cooperación entre los empleados.

Decisiones basadas en hechos no en opiniones : La administración recolecta y analiza datos como una base para la toma de decisiones.

Conocimiento de las herramientas : Empleados y gerentes son entrenados en el uso de las herramientas de la calidad.

Calidad de los proveedores : Los proveedores deben incluirse en el aseguramiento de la calidad y en los esfuerzos por mejorar la calidad de tal forma que sus procesos sean capaces de entregar partes y materiales de calidad en el tiempo establecido.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

El término *calidad desde el origen*, es la filosofía de hacer a cada trabajador responsable de la calidad de su trabajo, haciéndolos inspectores de su propio trabajo.

Lo anterior logra entre otras cosas, ubicar la responsabilidad directa de la calidad en la(s) persona(s) que directamente la afectan, eliminar las relaciones adversas entre los inspectores de control de calidad y los trabajadores de producción y motivar a los trabajadores, ya que cada uno de ellos puede realizar su trabajo de la forma que considere mas adecuada.

La administración total de la calidad refleja una nueva actitud hacia la calidad. Si realmente se desean cosechar los beneficios del TQM se debe cambiar la cultura de la organización.

2.2.1 Solución de problemas

La solución de problemas es uno de los procedimientos básicos del TQM, para hacer exitosos los esfuerzos de resolver problemas se tienen los siguientes pasos básicos:

1. Defina el problema y establezca una meta de mejora.
2. Colecte datos, la solución debe realizarse con base en hechos.
3. Analice el problema.
4. Genere soluciones potenciales.
5. Seleccione la mejor solución.
6. Implemente la solución.
7. Revise la solución para verificar si logra la meta.

2.2.2 Mejoramiento de procesos

Un enfoque sistemático para mejorar un proceso involucra documentación, medición y análisis con el propósito de mejorar la funcionalidad. Las metas típicas de la mejora de procesos incluye incrementar la satisfacción del cliente, lograr alta calidad, reducir desperdicio, reducir costos, incrementar productividad y acelerar el proceso.

Vista general del mejoramiento de procesos:

Esquematisar el proceso : Colecte información acerca del proceso; identifique cada paso y para cada uno determine las entradas y salidas, las personas involucradas, todas las decisiones que son hechas. Documente todas las medidas como tiempo, costo, uso de espacio, desperdicio, moral de los empleados y cualquier cambio en los empleados, accidentes y/o riesgos de seguridad, condiciones de trabajo, rendimiento y utilidades, calidad y satisfacción del cliente.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Prepare un diagrama de flujo que represente en forma exacta el proceso. Asegúrese que las actividades claves y decisiones estén representadas.

Analizar el proceso : Cuestione lo siguiente del proceso ¿El flujo es lógico?, ¿faltan actividades o pasos?, ¿se duplican actividades?, y lo siguiente sobre cada actividad o paso ¿Es necesario?, ¿ocasiona desperdicio?, ¿se puede reducir el tiempo?, ¿se puede reducir el costo?, ¿pueden ser combinados algunos pasos?

Rediseñar el proceso : Use el resultado del análisis, rediseñe el proceso y documente las mejoras y logros.

2.2.3 El ciclo Planear – Hacer – Estudiar – Actuar

También conocida como la rueda de Deming, es la base conceptual para las actividades de mejora continua. Los 4 pasos básicos en el ciclo son:

Planear: El proceso de planeación se inicia con el estudio del proceso actual, se documenta ese proceso, después se recolectan datos para identificar los problemas, se examinan los datos y se desarrolla un plan de mejora, especificando medidas para la evaluación del plan.

Hacer: En este paso se implementa el plan, se documenta cualquier cambio hecho en esta fase y se recolectan sistemáticamente los datos para su evaluación.

Estudiar: A continuación se evalúan los datos recolectados durante la fase anterior, se revisa que tanto se ajustan los resultados a las metas originales de la primera fase.

Actuar: Por último, si los resultados son exitosos, se estandariza el nuevo método y se comunica el nuevo método a todas las personas asociadas con el proceso. Se implementa entrenamiento para el nuevo método. Si los resultados no son exitosos se revisa el plan y se repite el proceso o se elimina el proyecto.

Emplear esta secuencia de pasos provee un enfoque sistemático de la mejora continua.

2.2.4 Herramientas.

Las siete herramientas básicas fueron propuestas en 1968 por Kaoru Ishikawa² como una respuesta a la necesidad de los círculos de calidad Japoneses, de contar con un procedimiento claro y objetivo para el análisis y solución de problemas en programas de mejoramiento continuo.

² Guide to Quality Control, Kaoru Ishikawa, 1976

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

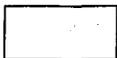
Según Ishikawa³, con las siete herramientas básicas se pueden resolver el 95% de los problemas que se le presentan a una organización, sobre todo de las áreas productivas.

Las siete herramientas básicas que una organización puede usar para resolver problemas y mejorar procesos para el control de la calidad son:

Hojas de verificación o comprobación: Sirven para recolectar y organizar datos, con los que se identifica un problema; y para aprender de la recolección de datos anteriores. Diversos formatos pueden ser utilizados para una hoja de verificación, algunas relacionadas con los tipos de defectos, otra con localización de defectos. Identificar el tipo de defecto y cuando ocurre puede ser útil para determinar con precisión la causa del defecto.

Diagramas de flujo: Es una representación visual de un proceso. Puede ayudar a los investigadores a identificar puntos del proceso en donde los problemas pueden ocurrir. Para construir un diagrama de flujo, se inicia listando los pasos en el proceso, después, se clasifica cada paso como procedimiento o decisión.

Aunque existen literalmente docenas de símbolos especializados para hacer un Diagrama de Flujo, se utilizan con más frecuencia los siguientes:



Se utiliza para representar un paso o procedimiento del proceso. Dentro del símbolo se escribe una descripción breve del paso.



Cola o punto de espera, inicio o fin del proceso.



Punto de decisión o verificación. Indica un punto de la rama en el proceso; la descripción se encuentra escrita dentro del símbolo, generalmente en forma de una pregunta. La respuesta determina el camino que debe tomarse desde el símbolo de decisión, cada camino está identificado para que corresponda a una respuesta.



Punto de almacenamiento.

³ Guide to Quality Control, Kaoru Ishikawa, 1976

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO



Subproceso.

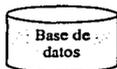


Las líneas de flujo son utilizadas para representar el progreso de los pasos en la secuencia del proceso. La punta de la flecha indica la dirección del flujo de los mismos.

Otros símbolos que son utilizados pero no con frecuencia y pueden ser útiles son:



Es el símbolo del documento, representa la información escrita pertinente al proceso.



Es el símbolo de las bases de datos, representa información almacenada electrónicamente con respecto al proceso.

En estos dos casos, el título o descripción aparece dentro del símbolo.

Diagrama de dispersión: Es una gráfica que muestra el grado y dirección de la relación que existe entre dos variables. Una correlación puede llevarnos a la causa de un problema⁴.

Histogramas: Es útil para obtener el sentido de una distribución de valores observados. Entre otras cosas se puede ver si la distribución es simétrica, cual es el rango de los valores y si existe algún valor inusual y el procedimiento es el siguiente:

1. Obtener un conjunto de datos que se desea representar mediante un histograma, debe ser representativo del proceso, asociado a condiciones conocidas de operación del mismo.
 - 1.1 Datos para análisis.
 - 1.2 Datos para control del proceso.
 - 1.3 Datos para regular alguna variable del proceso.
 - 1.4 Datos con el propósito de aceptar o rechazar un lote.

⁴ Un ejemplo de este tipo de diagramas se puede ver en la Tabla 2, página 37.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

2. Establecer el rango y clases o intervalos.
3. Determinar la frecuencia de cada clase y representarla mediante barras proporcionales a la frecuencia.

Análisis de Pareto: A principios del siglo XX Vilfredo Pareto (1848- 1923) un economista Italiano realizó un estudio sobre la riqueza y la pobreza en Italia, descubrió que el 20% de la población manejaba un 80% de la riqueza. Observó muchas otras distribuciones similares en estudios posteriores. El concepto de Pareto establece que aproximadamente el 80% de los problemas se originan del 20% de las causas.

A principios de los años 50s el Dr. Joseph Juran descubrió la evidencia para la regla "20-80" en una gran variedad de situaciones, en particular el fenómeno parecía ocurrir sin excepción en problemas relacionados con la calidad.

Es una técnica para clasificar áreas-problema de acuerdo al grado de importancia y enfocándose en las más importantes. Frecuentemente es referida como la regla 80-20. Es útil preparar una gráfica que muestre el número de ocurrencias por categorías, acomodadas según su frecuencia.

Una gráfica de Pareto se utiliza para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema, para que un equipo sepa donde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos (las barras más grandes en una Grafica de Pareto) servirá mas para una mejora general que reducir los mas pequeños. Con frecuencia un aspecto tendrá el 80% de los problemas, en el resto de los casos 2 o 3 aspectos serán los responsables por el 80% de los problemas.

Cartas de control: Se utilizan para monitorear un proceso y ver si los puntos del proceso están bajo control, es decir si se encuentran dentro del rango. Puede ayudar a detectar la presencia de causas corregibles de variación; también indican cuando ocurre un problema y llevan a la causa del mismo⁵.

Diagrama causa – efecto: Es la representación de varios elementos de un sistema (causas) que pueden contribuir a un problema (efecto) . Fue desarrollado en 1973 por el profesor Kaoru Ishikawa, es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones; para desarrollar un plan de recolección de datos.

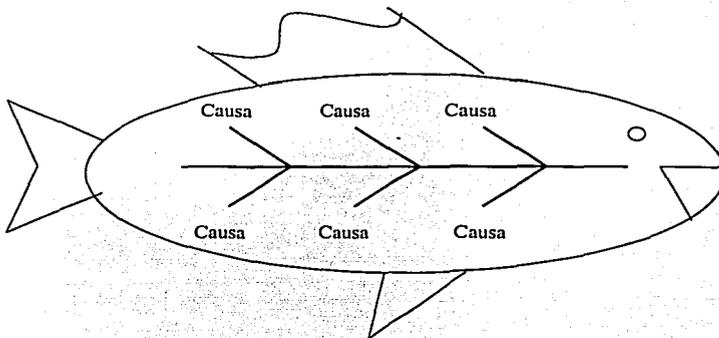
Ofrece un enfoque estructurado para la búsqueda de las posibles causas de un problema, también se le conoce como espina de pescado. Esta herramienta ayuda a organizar los esfuerzos identificando categorías de factores que pueden estar causando el problema.

⁵ Las cartas de control se analizan en el tema 2.3.3 pagina 30

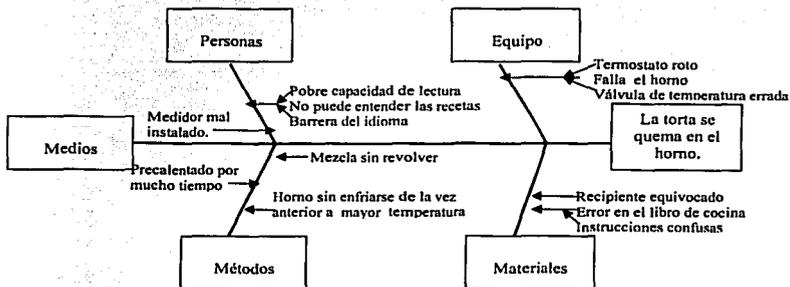
DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Frecuentemente se usa después de una sesión de lluvia de ideas, para organizar las ideas generadas. Los diagramas de Ishikawa tienen la ventaja de que exhiben las relaciones entre un problema y sus posibles causas.

Los pasos para hacer un diagrama de causa-efecto son: Del lado derecho, en un recuadro escribir la característica seleccionada, escribir los factores que se cree podrían estar causando el problema en cuestión de acuerdo con la clasificación ya mencionada. En cada rama, de acuerdo a la categoría, con mayor detalle las causas que considere podrían estar provocando el problema, es decir como se muestra a continuación:



Ejemplo del diagrama de causa-efecto :



Gráficas de tendencias: Se utiliza para mostrar la trayectoria de los valores de una variable a través del tiempo, ayuda a identificar tendencias o patrones que pueden estar ocurriendo. Una ventaja importante es que son fáciles de construir e interpretar.

2.2.5 Métodos para generar ideas

Lluvia de ideas: Técnica para generar un flujo libre de ideas dentro de un grupo de personas en un ambiente relajado. La meta es identificar problemas, encontrar las causas, soluciones y formas de implementar las soluciones. En una lluvia de ideas exitosa no existe la crítica, un solo miembro no domina la sesión y todas las ideas son bienvenidas.

Círculos de calidad : "El Círculo de Calidad es un grupo pequeño que desarrolla actividades de control de calidad voluntariamente dentro de un mismo taller. Este pequeño grupo lleva a cabo continuamente, como parte de las actividades de control de calidad en toda la empresa, autodesarrollo y desarrollo, mutuo control y mejoramiento dentro del taller, utilizando técnicas de control de calidad con participación de todos los miembros⁶.

Un Círculo de Calidad está integrado por un reducido número de empleados de la misma área de trabajo y su supervisor, que se reúnen voluntariamente y en forma periódica para estudiar técnicas de mejoramiento de control de calidad y de productividad con el fin de aplicarlas en la identificación, análisis y solución de los problemas relacionados con su área de trabajo. El enfoque de grupo trabaja mejor cuando las decisiones se basan en consensos.

La idea básica de los Círculos de Calidad consiste en crear conciencia de calidad y productividad en todos y cada uno de los miembros de una organización, a través del trabajo en equipo y el intercambio de experiencias y conocimientos, así como el apoyo recíproco. Todo ello, para el estudio y resolución de problemas que afecten el adecuado desempeño y la calidad de un área de trabajo, proponiendo ideas y alternativas con un enfoque de mejora continua.

Entrevistas: Técnica para identificar problemas y coleccionar información. Los problemas internos de la empresa pueden algunas veces solucionarse después de entrevistar a los trabajadores ya que dan su punto de vista sobre las fallas o inconformidades; los problemas externos puede requerir entrevistar clientes para su solución.

⁶ Círculos de Calidad. Cómo hacer que funcionen Philip C. Thomson pp54.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO
EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Benchmarking: Es el proceso del desempeño de la organización con base en los requerimientos de los clientes. Tiene el propósito de establecer un estándar contra el cual se mide el desempeño e identifica un modelo para aprender como mejorar. La meta es alcanzar o exceder los estándares de calidad a través de la mejora de los procesos.

Para mejorar los procesos se identifica uno crítico que necesite mejoras; se identifica a la organización que mas sobresalga en ese tipo de proceso, se contactar la organización, si es posible se visita y se estudian las actividades; se analizan los datos obtenidos, se adaptan a las propias necesidades y se utilizan para mejorar el proceso crítico en nuestra organización.

2.3 CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

El control de calidad se utiliza para la conformidad de la calidad en el proceso, los administradores del proceso utilizan el control estadístico del proceso para evaluar la producción y determinar su aceptabilidad. Para hacerlo se toman muestras periódicas en algunos puntos del proceso y se comparan con un estándar predeterminado, si los resultados de la muestra no son aceptados se para el proceso y se toman acciones correctivas, si los resultados son aceptados permiten que el proceso continúe.

Las herramientas estadísticas que se utilizan para el control de calidad son principalmente cartas de control y corridas de prueba; frecuentemente ambas son usadas conjuntamente.

2.3.1 Control del proceso.

La utilización del muestreo para verificar la calidad y detectar defectos en determinados puntos de la línea de producción, y la implementación de acciones correctivas en los artículos semifabricados defectuosos, representan solo una parte del control del proceso y no el total como piensan muchos gerentes de las empresas. Para implementar un sistema efectivo de control del proceso se requiere de los siguientes pasos:

1. Definición.
2. Medición.
3. Comparación con un estándar.
4. Evaluación.
5. Tomara acciones correctivas si es necesario.
6. Evaluar las acciones correctivas.

Definir con suficiente detalle las características del producto que se van a controlar es muy importante, ya que diferentes características pueden requerir diferentes tipos de control, además solo aquellas características que pueden ser contadas o medidas son candidatas para el control de calidad. Por esto la importancia de considerar la forma óptima de como se realiza la medición.

La principal tarea del control de calidad es distinguir la variación aleatoria y no aleatoria, debido a que la variación no aleatoria nos indica que el proceso está fuera de control, lo que lleva a la aplicación de acciones correctivas. Para asegurar que las acciones correctivas son efectivas se debe dar seguimiento a la producción de nuestro proceso.

2.3.2 Variaciones y control.

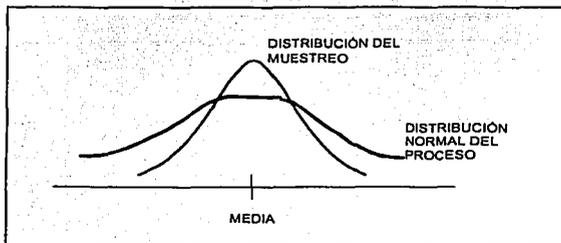
Todos los procesos que proveen bienes o servicios exhiben cierta cantidad "natural" de variación en su producción, las variaciones son creadas por la influencia combinada de factores incontables, esta variabilidad es inherente al proceso, también conocida como el cambio o variación aleatoria, o variabilidad común. Una segunda clase de variabilidad en un proceso de producción es llamada variación asignable, o variación especial.

La variabilidad de una muestra estadística puede describirse como su distribución del proceso, la cual es una distribución teórica que describe la variabilidad aleatoria de la muestra estadística. El objetivo del muestreo es la existencia de fuentes de variación no aleatorias en la producción del proceso, las cuales se deben prevenir, minimizar o eliminar.

La distribución del muestreo es una distribución normal, aun cuando el proceso no presente una distribución de este tipo, ya que el teorema del límite central provee la base para la suposición de que la distribución del muestreo es normal o aproximadamente normal.

La distribución normal puede ayudar a determinar si el proceso esta siendo desarrollado adecuadamente. Si la producción refleja sólo variabilidad aleatoria, uno puede concluir que el proceso es estable, pero si la evidencia indica que el proceso presenta variabilidad no aleatoria se concluye que el proceso es inestable.

En el cuadro siguiente se muestra la variabilidad de la distribución del muestreo con la distribución normal del proceso:



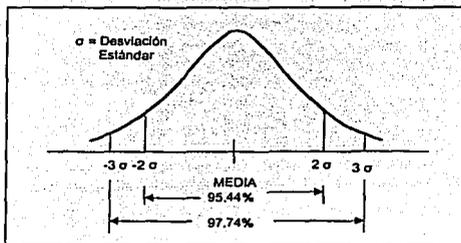
Como se puede ver en el cuadro anterior la distribución del muestreo tiene menos variabilidad que la distribución normal del proceso.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Para comprender como se utiliza la distribución normal para la variabilidad en el proceso, considere los siguientes datos:

- Aproximadamente el 95.5% del área bajo la curva de la distribución normal tiene valores que se encuentran dentro de ± 2 desviaciones estándar de la media de la distribución.
- Aproximadamente el 97.7% del área bajo la curva de la distribución del proceso tiene valores que se encuentran dentro de ± 3 desviaciones estándar de la media de la distribución.

Los datos anteriores se representan en la siguiente gráfica de la distribución normal:



Estos valores son típicamente utilizados para establecer los límites de control, es decir hasta que nivel de variación se permite el paso de un producto semifabricado a la siguiente estación del proceso de producción.

2.3.3 Cartas de control.

Una carta de control es una gráfica de tiempo-ordenada, de un muestreo estadístico y se utiliza para distinguir entre la variabilidad aleatoria y la variabilidad no aleatoria. La base de las cartas de control es la distribución del muestreo, la cual describe esencialmente la variabilidad aleatoria.

Las cartas de control tienen dos límites que separan la variación aleatoria y la variación no aleatoria, el valor más grande es el límite superior de control (LSC) y el valor más pequeño es el límite inferior de control (LIC).

Si los elementos de la muestra estadística caen dentro de los valores de los límites de control, sugiere aleatoriedad, se considera el proceso bajo control y continúa el programa de producción, mientras que si caen fuera de los valores de los límites de control, sugiere no aleatoriedad, se considera el proceso fuera de control y se detiene el programa de producción.

Existen cuatro tipos de cartas de control que son utilizadas comúnmente, dos por variables y dos por atributos. Las cartas de control por variables utilizan datos que pueden ser medidos y las cartas de control por atributos utilizan datos que pueden ser contados.

2.3.4 Cartas de control por variables.

Las cartas de control por variables se dividen en cartas de control de medias y cartas de control de rangos.

Las cartas de control de medias se utilizan cuando la medición de los datos se realiza por medio de la media de las muestras y sirven para monitorear la tendencia central del proceso.

Las cartas de control de rangos se utilizan cuando la medición de los datos se realiza por medio de los rangos de las muestras y sirven para monitorear la dispersión del proceso.

2.3.4.1 Cartas de control de medias.

Una carta de control de medias, algunas veces referida como una *Gráfica \bar{x}* , determina los límites de control del proceso por medio de las siguientes fórmulas:

$$\text{Limite Superior de Control (LSC)} = \bar{x} + z\sigma_{\bar{x}}$$

$$\text{Limite Inferior de Control (LIC)} = \bar{x} - z\sigma_{\bar{x}}$$

En donde:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$\sigma_{\bar{x}}$ = Desviación estándar de la distribución de las medias de la muestra.

σ = Desviación estándar del proceso.

n = Tamaño de la muestra.

z = Desviación estándar normal.

\bar{x} = Promedio de las medias de las muestras.

Ejemplo 1.

Un inspector de calidad tomó 5 muestras (cada una con cuatro observaciones), de la cantidad de tiempo que tardan los clientes en el proceso de aceptación de un préstamo en un centro crediticio. El analista calculó la media de cada una de las muestras y después calculó la media de medias ó \bar{x} , se sabe por experiencia previa que la desviación estándar del proceso es $\sigma = 0.02$ minutos.

Utilice la información anterior y la que se muestra en la tabla siguiente para obtener límites de control de 3σ para las medias en tiempos futuros e interprete los resultados.

Observación	Número de muestra				
	1	2	3	4	5
1	12.11	12.15	12.09	12.12	12.09
2	12.10	12.12	12.09	12.10	12.14
3	12.11	12.10	12.11	12.08	12.13
4	12.08	12.11	12.15	12.10	12.12
Media \bar{x}	12.10	12.12	12.11	12.10	12.12

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Solución:

El promedio de las medias de las muestras es:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{12.1 + 12.12 + 12.11 + 12.1 + 12.12}{5} = 12.11$$

El tamaño de la muestra es: $n = 4$

La desviación estándar normal es: $z = 3$

La desviación estándar del proceso es $\sigma = 0.02$

Entonces:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} = 12.11 + 3\left(\frac{0.02}{\sqrt{4}}\right) = 12.14$$

y

$$LIC = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} = 12.11 - 3\left(\frac{0.02}{\sqrt{4}}\right) = 12.08$$

Como sólo el dato de la muestra 2 observación 1 (12.5) se encuentra fuera de los límites de control se considera el proceso bajo control y continúa el proceso de producción.

Determinación de los límites de control con datos incompletos (cartas R).

Si no se conocen los datos necesarios para calcular las formulas de límites de control anteriores, podemos utilizar una aproximación, que consiste en utilizar los valores de los intervalos de la muestra como medida de la variabilidad del proceso. Las formulas apropiadas para los límites de control son:

Límite de control superior es :

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

Límite de control inferior es :

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

En donde:

\bar{R} = Promedio de los intervalos de las muestras.

A_2 = Valor de tabla para 3σ . (Tabla 1)

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ejemplo 2.

Veinte muestras de tamaño $n = 8$ han sido tomadas de una operación de limpieza, el promedio de las muestras fue de $\bar{R} = 0.016$ minutos y el promedio de la media fue de $\bar{x} = 3$. Determinar los límites de control para el proceso de 3σ .

Solución:

Como el promedio de las muestras es de $\bar{R} = 0.016$

El promedio de la media es de $\bar{x} = 3$

Y el valor en tablas es $A_2 = 0.37$ para $n = 8$ (Tabla 1)

Entonces:

$$LSC = \bar{x} + A_2 \bar{R} = 3 + 0.37 (0.016) = 3.006$$

y

$$LIC = \bar{x} - A_2 \bar{R} = 3 - 0.37 (0.016) = 2.994$$

Como el promedio de la media es de $\bar{x} = 3$ y se encuentra dentro de los límites de control, es decir, $\bar{x} \in (2.994, 3.006)$, entonces el proceso se encuentra bajo control y el proceso de limpieza se encuentra dentro de los estándares de calidad.

Numero de observaciones en el subgrupo, n	Factor para la carta - x A_2	Factores para las cartas R	
		Limite de control inferior D_3	Limite de control superior D_4
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.38	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59

Tabla 1. Factores para límites de control para cartas X-R

2.3.4.2 Cartas de Control de Rangos.

Las cartas de control de rangos (*Gráfica – R*) son utilizadas para monitorear la dispersión del proceso.

Los conceptos utilizados para el uso de cartas de rangos son muy similares a los de las cartas de medias, los límites de control de las cartas de rango son calculados usando los promedios de las muestras de rangos como se muestra en las siguientes formulas:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

En donde los valores de D_3 y D_4 son obtenidos de una tabla de valores para cartas $x - R$.

Ejemplo 3.

Veinte muestras de $n = 10$ observaciones han sido tomadas de un proceso de fresado, el promedio de los rangos de las muestras fue de $\bar{R} = 0.01$ cm. Determinar los límites de control superior e inferior de los rangos de las muestras y analice los resultados.

Solución:

Como el promedio de los rangos de las muestras es de $\bar{R} = 0.01$

El tamaño de las muestras es de $n = 10$

De la tabla 1 tenemos para $n = 10$: $D_4 = 1.78$ y $D_3 = 0.22$.

Entonces:

$$LSC_R = 1.78(0.01) = 0.0178 \text{ ó } 0.018$$

$$LIC_R = 0.22(0.01) = 0.0022 \text{ ó } 0.002$$

Como el promedio de los rangos $\bar{R} = 0.01$, se encuentra dentro del intervalo de los límites de control, es decir $\bar{R} \in (0.002, 0.018)$, entonces continúa el proceso de fresado.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

2.3.4.3 Uso de cartas de medias y rangos.

Las cartas de control de medias y las cartas de control de rangos proporcionan diferentes perspectivas sobre un proceso.

Las cartas de control de medias son sensitivas a los cambios en las medias del proceso, mientras que las cartas de control de rangos son sensitivas a los cambios en la dispersión en el proceso.

Una vez que se han establecido las cartas de control, éstas pueden servir como base para decidir cuando interrumpir el proceso y buscar la causa de variación asignable.

Para determinar los límites de control iniciales se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Obtener de 20 a 25 muestras y realizar las estadísticas apropiadas a las muestras.
2. Establecer los límites de control preliminares.
3. Graficar la estadística de la muestra en la carta de control y observar si cualquier punto cae fuera de los límites de control.
4. Si no se encuentran puntos fuera de control, se asume que el proceso esta bajo control, de lo contrario se investiga y corrigen las causas asignables de variación.

El cuadro siguiente muestra un diagrama de dispersión de los datos de la muestra y en este caso se encuentran dentro de los límites de control establecidos.



En este caso el $LCL = 0$ y el $LSC = 6$. Como los valores de las medias se encuentran dentro de estos límites, el proceso se encuentra bajo control, es decir no hay razón para detener el proceso para una verificación.

2.3.4 Cartas de control por atributos.

Una **Gráfica - p** se utiliza para monitorear el número de defectos generada por un proceso.

La base teórica para la **Gráfica - p** es la distribución binomial, éste tipo de gráfica es de uso más común que una de medias.

La línea central de una **Gráfica - p** es el promedio de la fracción defectuosa de la población p . La desviación estándar de la distribución de la muestra cuando p es conocida es:

$$\rho_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

En donde :

- ρ_p = desviación estándar de la distribución de la muestra,
- n = tamaño de las muestras y
- p = tamaño de la población.

Los límites de control son calculados utilizando las siguientes fórmulas:

$$LSC = p + z\sigma_p$$
$$LIC = p - z\sigma_p$$

En donde :

- z = valor en tablas de la distribución normal para el porcentaje mínimo de aceptación de defectos.

Si p es desconocida se estima de las muestras de la siguiente manera:

$$\bar{p} = \frac{\text{Numero Total de Defectos}}{\text{Numero Total Muestreal}}$$

El rango de los límites de control es (LIC, LSC) , si el número de defectos generados por el proceso caen dentro de este rango, entonces el proceso se encuentra bajo control.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ejemplo 4.

Un inspector de control de calidad en una empresa que produce chips de computadora, determina el número de chips defectuosos en 20 muestras, utilizando muestras de 100 chips, los resultados se muestran en la siguiente tabla :

Muestra	Numero de defectos	Muestra	Numero de defectos
1	14	11	8
2	10	12	12
3	12	13	9
4	13	14	10
5	9	15	11
6	11	16	10
7	10	17	8
8	12	18	12
9	13	19	10
10	10	20	16
		Total	220

Utilizando la información anterior construya una carta de control, que describa 99.74% de la probabilidad de variación en el proceso, cuando el proceso se encuentra bajo control.

Para 99.74% se tiene que $z = 3.00$ (de la tabla de la distribución normal), como no se conoce el tamaño de la población, la estimamos como:

$$\bar{p} = \frac{\text{Numero Total de Defectos}}{\text{Numero Total Muestral}} = \frac{220}{20(100)} = 0.11$$

Entonces, la desviación estándar de la distribución de la muestra es :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.11(1-0.11)}{100}} = 0.03$$

Y los límites de control son:

$$\text{LSC}_p = \bar{p} + z(\sigma_p) = 0.11 + 3.00(0.03) = 0.20$$

$$\text{LIC}_p = \bar{p} - z(\sigma_p) = 0.11 - 3.00(0.03) = 0.02$$

El rango de los límites de control es : (2,20) y como el número de defectos generado por el proceso caen dentro de este rango, entonces el proceso se encuentra bajo control.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Una Gráfica – c se utiliza cuando la meta de control es el número de defectos por unidad.

La distribución del muestreo es una distribución de Poisson y asume que los defectos ocurren sobre algunas regiones continuas y que la probabilidad del reconocimiento de mas de un defecto en una zona en particular es Insignificante.

El número medio de defectos por unidad es c y la desviación estándar es \sqrt{c} . Por razones practicas la aproximación normal a Poisson es utilizada.

Los limites de control son:

$$LSC = c + z\sqrt{c}$$

$$LIC = c - z\sqrt{c}$$

En donde:

z = La media del proceso.

Si la media del proceso es desconocida, se calcula de los datos de la muestra, utilizando la formula :

$$\bar{c} = \frac{\text{Numero Total de Defectos}}{\text{Numero Total de Muestras}}$$

Cuando el cálculo del límite de control inferior es negativo, el límite inferior efectivo es cero.

Los límites inferior y superior determinan el rango para la carta_c de límites de control, *si los defectos por unidad se encuentran dentro de los límites de control, el proceso se encuentra bajo control.*

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ejemplo 5.

Un inspector de control de calidad en una empresa que produce rollos de alambre, determina el número de defectos en cada uno, el número de defectos por rollo se muestran en la siguiente tabla :

Muestra	Numero de defectos	Muestra	Numero de defectos
1	3	10	1
2	2	11	3
3	4	12	4
4	5	13	2
5	1	14	4
6	2	15	2
7	4	16	1
8	1	17	3
9	2	18	1
		Total	45

Utilizando la información anterior determine si el proceso se encuentra bajo control, grafique los valores en una carta de control de rangos para 3 desviaciones estándar.

Solución:

El número medio de defectos por unidad es :

$$\bar{c} = \frac{\text{Numero Total de Defectos}}{\text{Numero Total de Muestras}} = \frac{45}{18} = 2.5$$

El límite superior de control es:

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 2.5 + 3\sqrt{2.5} = 7.24$$

El límite inferior de control es:

$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 2.5 - 3\sqrt{2.5} = -0.66$$

Como el límite inferior es negativo, se considera $LIC_c = 0$.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Los límites inferior y superior determinan el rango para la carta c de límites de control, entonces el rango de los límites de control es : $(0,7.21)$ y como el número de defectos generado por el proceso cae dentro de este rango, entonces el proceso se encuentra bajo control.

En la grafica siguiente se muestra el número de defectos por unidad de las dieciocho muestras utilizadas para verificar la calidad :



Límites de control para cartas c

Los defectos por unidad se encuentran dentro de los límites de control por lo tanto la muestra es consistente y se aprueba el lote.

Consideraciones administrativas concernientes con las cartas de control.

El uso de las cartas de control se suma a la necesidad de minimizar costos y tiempo en el proceso de producción.

Los gerentes deben realizar un análisis acerca de las cartas de control para determinar en que puntos del proceso se debe utilizar cartas de control, que tamaño de muestras utilizar y que tipo de gráfica de control utilizar.

La decisión acerca del uso de cartas de control por variables o por atributos debe enfocarse en los aspectos del proceso que tengan una tendencia al error y sean críticos para el éxito de la operación de los productos o servicios.

El tamaño de las muestras se determina con base al costo y el tiempo.

2.4 CAPACIDAD DEL PROCESO.

La variabilidad del proceso puede impactar significativamente a la calidad. Tres términos comunes se utilizan con respecto a la variabilidad en el proceso de producción:

Tolerancias o especificaciones : son establecidas por el diseño del producto o requerimientos del cliente, indican un intervalo de valores en los cuales las unidades de producción deben estar dentro para ser aceptables.

Limites de control : son limites estadísticos que reflejan la extensión en la cual una muestra estadística con tales medias y rangos puede variar a razones aleatorias.

Variabilidad del proceso: refleja la variabilidad natural o inherente en un proceso. Es medida en términos de la desviación estándar del proceso.

Los limites de control y la variabilidad del proceso están directamente relacionados ya que los limites de control se basan en la variabilidad del muestreo, la cual es función de la variabilidad del proceso. No existe una liga directa entre tolerancias, limites de control o variabilidad del proceso.

En un momento determinado del proceso de producción, se puede o no cumplir con las especificaciones, aun cuando el proceso puede estar en control estadístico; es necesario tomar en cuenta la capacidad del proceso.

El término capacidad del proceso se refiere a la variación inherente al proceso de producción, relativo a la variación permitida por las especificaciones de diseño.

2.4.1 Análisis de capacidad.

El análisis de capacidad significa determinar si la variación inherente al proceso de producción cae dentro del rango de aceptación permitido por las especificaciones de diseño para el proceso de producción. Si esta dentro de las especificaciones, se dice que el proceso es "capaz", si no lo es la gerencia debe decidir como corregir la situación.

Para expresar la capacidad de una maquina o un proceso, algunas compañías utilizan la tasa del ancho de la especificación de la capacidad del proceso.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Tasa de capacidad del proceso:

$$C_p = \frac{\text{ancho de especificación}}{\text{ancho del proceso}} = \frac{\text{Especificación superior} - \text{Especificación inferior}}{6\sigma}$$

Ejemplo 6.

Un gerente tiene la opción de utilizar cualquiera de sus tres máquinas para realizar su trabajo. Las máquinas y sus desviaciones estándar se listan a continuación:

Maquina	Desviación Estándar (mm)
A	0.10
B	0.08
C	0.13

Determine cuales máquinas son capaces, si la especificación es 1.00mm a 1.60mm y determine la capacidad de cada máquina y compare estos valores con la especificación de ± 0.60 cm.

Solución:

Utilizando la fórmula anterior se calcula la capacidad de cada máquina y se muestra en la siguiente tabla:

Maquina	Desviación Estándar (mm)	Capacidad de la maquina
A	0.10	0.60
B	0.08	0.48
C	0.13	0.78

Vemos que las máquinas A y B son capaces de realizar la producción que está dentro de las especificaciones, no así la máquina C, ya que excede las especificaciones de ancho de 0.60.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ejemplo 7.

Calcule los índices de capacidad de cada máquina para el problema 6.

Solución:

La especificación de ancho en el problema 6 es de 0.60 mm. Para determinar el índice de capacidad para cada máquina dividimos 0.60 entre el ancho del proceso de cada máquina.

Los resultados de los índices de capacidad del problema 6, se muestran en la siguiente tabla:

Maquina	Desviación Estándar (mm)	Capacidad de Maquina	C_p
A	0.10	0.60	$0.60/0.60 = 1.00$
B	0.08	0.48	$0.60/0.48 = 1.25$
C	0.13	0.78	$0.60/0.78 = 0.77$

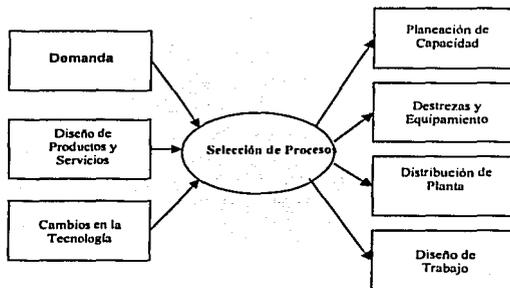
Usando la tasa de capacidad se puede observar que un proceso es capaz, debe tener una tasa de capacidad de al menos 1.00. mientras mayor sea la tasa de capacidad, mayor es la probabilidad de que la producción de la máquina o proceso se encuentre dentro de las especificaciones.

CAPITULO 3:

SELECCIÓN DE PROCESOS Y CAPACIDAD DE PLANTA

3.1 SELECCIÓN DE PROCESOS.

La selección de procesos se refiere a la forma en que se organiza una compañía para producir bienes o proporcionar servicios; esto involucra la elección de tecnología y lo que se relaciona con ella, así como también los factores que influyen en el diseño de un sistema, tal y como se puede ver en la siguiente figura:



La forma en que una organización se aproxima hacia la selección de procesos se encuentra determinada por los procesos estratégicos, que son:

- **Decisión de hacer o compra:** Análisis sobre los beneficios de manufacturar un bien o comprarlo.
- **Intensidad de capital:** Mezcla de trabajo y equipo que puede ser usado en la organización.
- **Flexibilidad de procesos:** El grado en que es posible ajustarse a los cambios requeridos por el proceso, en función de cambios en el diseño, volumen o tecnología.

3.1.1 Hacer o comprar

Algunas de las grandes empresas, para solucionar el problema de determinar que subproductos deben fabricarse en la planta y cuales hay que comprar, realizan subcontrataciones para el mantenimiento, por ello es que algunas de ellas se dedican a ensamblar los diversos componentes que han comprado o contratado. Este punto es vital ya que de él depende la necesidad o no de realizar una selección de procesos; usualmente se deben de considerar los factores siguientes en un análisis de este tipo:

Capacidad Disponible: Ya que en algunas ocasiones pueden los trabajos extras ser más baratos que los costos de compra o subcontratación.

Experiencia: Si se tiene el antecedente de la experiencia de un proveedor puede ser considerado como una opción.

Consideraciones de calidad: Una empresa especializada contará con estándares de calidad superiores a los nuestros, y ese es un buen punto a considerar.

Naturaleza de la demanda: El comportamiento de la demanda influye en los lotes de producción, ya que se recomienda que sean pequeños para mayor facilidad y soportar las variaciones de demanda.

Costos: Deben ser bien analizados, ya que la decisión de comprar puede implicar, además, los costos de transportación y costos fijos asociados; mismos que podrían no hacerse si se decide fabricar.

En algunos casos, las empresas optan por producir una parte y comprar otra, esta es una de las cuestiones que hacen importante la selección de procesos.

3.1.2 Tipo de operación

Los grados de estandarización y del volumen de producción son puntos que afectan la forma de producción (estandarización y volumen alto o volumen bajo y alta especialización), para ello se explicarán las diferencias entre las formas de producción.

Procesos continuo : En este sistema de producción se obtienen productos idénticos o de alta uniformidad, en grandes lotes, como son procesos químicos y películas fotográficas; también se considera el desempeño continuo de máquinas, como pueden ser sistemas de monitoreo o el aire acondicionado.

Los sistemas semicontinuos : Se conocen familiarmente como Procesos Repetitivos, en este caso se producen bienes que son iguales pero no idénticos (televisores, cámaras, calculadoras), casi siempre se producen en pequeños lotes.

Estos sistemas involucran métodos y equipos de alta estandarización, por ello se requiere de maquinaria especializada, más costosa que los equipos de propósitos generales, pero que debido a su alto volumen de producción los costos unitarios de producción son bajos.

Procesos intermitentes : Si los sistemas de producción requieren manejar una variedad de requerimientos de procesamiento, es decir, una máquina puede producir diversos artículos, con las adaptaciones necesarias; entonces se utiliza el proceso intermitente. El volumen de producción es menor debido al uso de equipos de propósitos generales que pueden ser manejados por gente hábil o semi-hábil en su uso.

Procesamiento por lotes : Se utiliza en el caso de que las empresas requieran volúmenes moderados de productos similares, por ejemplo en la producción de helados, el equipo es el mismo, pero primero debe elaborarse un sabor (vainilla) y posteriormente otro; otra de las características de este proceso es que pueden elaborarse artículos estandarizados o personalizados (helados, impresiones, etc.).

La "compra de trabajo" es otra clase de sistemas de este tipo; mantiene la capacidad de desarrollar cierto tipo de actividades pero que casi nunca se responsabiliza por productos específicos; en vez de ello los trabajos varían en función de las necesidades del cliente. Ejemplo de ello son las empresas que se dedican a la reparación, al cuidado de la salud, etc.; el tamaño de lote es de tamaños muy pequeños, llegando incluso hasta la unidad.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

La siguiente tabla muestra las características básicas de los cuatro tipos de operación mencionados:

	Compra de Trabajo	Lotes	Ensamble Repetitivo	Continuo
Descripción	Bienes o servicios bajo pedido	Bienes y servicios semi-estandarizados	Bienes y servicios estandarizados	Alta estandarización de bienes y servicios
Ejemplos de procesos de Manufactura	Venta de máquinas	Panadería	Línea de ensamble	Talleres de acero y papel, etc.
Servicios	Cosméticos, peluquerías	Salón de clases	Línea en una cafetería	Sistema central de calentamiento
Ejemplo de Bienes	Herramientas especiales	Galletas	Automóviles	Acero, papel, harina, azúcar
Servicios	Estilista para el cabello	Educación	Lavado de autos	Calentadores, aire acondicionado
Volumen	Bajo	De bajo a moderado	Alto	Muy alto
Variedad en la salida	Muy alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Flexibilidad en el equipo	Muy alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Ventajas	Capacidad de manejar una amplia variedad de trabajos	Flexibilidad	Bajos costos unitarios, alto volumen, eficiencia	Muy eficiente, muy alto volumen
Desventajas	Lento, altos costos unitarios, compleja planeación y programación	Costo moderado por unidad, complejidad de programación moderada	Baja flexibilidad, altos costo de tiempos muertos	Muy rígido, falta de variedad, cambios costosos y costo muy alto por tiempos muertos

La tabla siguiente muestra un arreglo matricial en donde se relacionan los tipos de producción de acuerdo al tipo de operación:

	Compra de Trabajo	Lotes	Ensamble Repetitivo	Continuo
Variedad de productos	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Flexibilidad de equipo	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Volumen bajo	Compra de trabajo			
Volumen moderado		Lote		
Volumen alto			Ensamble repetitivo	
Volumen muy alto				Flujo continuo

3.1.3 Automatización

Básicamente la automatización consiste en el uso de máquinas que poseen sistemas de sensibilidad y control, permitiéndoles operar de forma automática; las empresas que están automatizadas van de un rango variante entre automatizar una sola operación hasta automatizar toda la planta. Esta opción presenta varias ventajas sobre la mano de obra humana ya que elabora bienes siempre con las mismas características, en el mismo tiempo y de la misma forma (baja variabilidad), no hacen huelgas, mantiene el mismo nivel de calidad, respeta la programación de actividades y reduce (en algunas ocasiones) los costos fijos.

Casi siempre la automatización se ve como una ventaja competitiva, sin embargo se pasan por alto sus desventajas: alto costo de instalación, necesidad de tener altas tasa de salida y flexibilidad menor a la obtenida con trabajadores.

Existen tres clases de automatización y son las siguientes:

Automatización Fija: Es el tipo de automatización con mayor rigidez, fue perfeccionada por la Ford Motor Company a principios de 1900's, siendo a partir de ello la piedra angular en la producción de los fabricantes de automóviles. Utiliza equipo especializado, con bajos costos a altos volúmenes, variaciones mínimas y altos costos al realizar cambios mayores.

Automatización programable: Aquí se encuentran los equipos de altos costos, el equipo de propósitos generales controlado por computadora que le provee, al mismo tiempo, de la secuencia de operación y las características de cada una de dichas secuencias. Este tipo de automatización incluye una baja variedad de productos elaborados en lotes pequeños.

La automatización programable puede utilizar la *MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)*, esto es usar computadoras en procesos de control, como por ejemplo los rangos en que un robot realizará el control de calidad. También puede utilizar *Las MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO (N/C)* que son capaces de ser programadas para realizar una serie de tareas basándose en relaciones matemáticas y pueden almacenar datos en discos flexibles, cintas magnéticas, etc.

Cuando una computadora controla una máquina se utiliza un *CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)*, pero si una computadora ordena a varios equipos tenemos un *CONTROL NUMÉRICO DIRECTO (DNC)*.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Lo mas moderno en el control de maquinaria por computadora son los ROBOTS.

Este tipo de equipos se componen principalmente de tres partes:

- a) Brazo mecánico,
- b) Fuente de poder y
- c) Controlador.

Su empleo ha permitido relevar a los hombres de las tareas sucias o peligrosas; sus movimientos son de dos tipos:

- 1) Punto a punto (va de un lugar a otro) y
- 2) ruta continua (sigue una serie de instrucciones de manera continua) .

Su fuerza de trabajo puede obtenerla vía hidráulica, neumática o electrónica.

Automatización flexible: Involucra a la automatización programable, pero su diferencia primordial sobre ésta es que le permite una operación continua del equipo produciendo una variedad de productos que necesitarían producción por lotes y puede tomar diversas formas:

1. **CELDAS DE MANUFACTURA** algunas de las maquinas de control numérico pueden producir una variedad de partes y se enlazan con equipos de manejo de materiales.
2. **SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS)** Un grupo de maquinas diseñadas para un proceso intermitente producen una gran variedad de artículos similares.
3. **MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM)** relaciona un rango o grupo de tareas de manufactura a través de un sistema integrado con computadoras, lo cual permite respuestas rápidas al público, reduciendo también los costos indirectos.

3.1.4 Planeación de la Capacidad

Para poder determinar el número de celdas que se necesitan para manufacturar un cierto número de artículos deben de determinarse el nivel de capacidad que se requiere, el número de máquinas que se necesitan y cuántas son realmente necesaria.

De allí que sea necesario enfocarse en planear correctamente la capacidad de la planta, ya que el tener un exceso de capacidad nos origina costos que pueden ser evitados.

3.1.4.1 Importancia de la decisión de capacidad

Las decisiones de capacidad tienen un impacto muy importante en la capacidad de la empresa de satisfacer futuras demandas de productos o servicios ya que la capacidad marca los límites de la tasa de salida posible.

Afecta los costos de operación, idealmente la capacidad y la demanda deben ser empatadas para minimizar los costos de operación; en la práctica no es así, pero se pueden determinar los ciclos de demanda y con ello los de producción. El determinante de los costos iniciales es la Capacidad, a mayor tamaño de capacidad de producción por unidad casi siempre se incrementa el costo.

Las decisiones de capacidad se ven envueltas en planes a largo plazo, en donde es casi imposible hacer modificaciones con rapidez, lo que ocasiona mayores costos. También afectan la competitividad ya que si una empresa tiene mucha capacidad, tiene que capacitar al personal o se verá en desventaja frente a otras empresas.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

3.1.4.2 Definición y medida de la capacidad

Antes de comenzar es necesario definir dos términos importantes:

Capacidad de diseño: La máxima salida que es posible obtener.

Capacidad efectiva: la máxima salida posible a obtener dada una mezcla de productos, dificultades de programación, mantenimiento de máquinas, factores de calidad, etc.

La medida de capacidad depende en donde se realice para determinar sus unidades; como puede verse en la siguiente tabla:

Negocio	Entradas	Salidas
Manufactura de coches	Horas de trabajo, horas maquina	Número de carros por turno
Taller de Acero	Tamaño del homo	Toneladas de acero diarias
Refinería	Tamaño de la refinería	Galones de combustible por día
Granja	Número de acres, número de vacas	Costales de grano por acre por año, galones de leche diarios
Restaurante	Número de mesas, disponibilidad de asientos	Número de platos servidos por día
Teatro	Número de asientos	Número de boletos vendidos para la representación
Ventas al detalle	Pies cuadrados de espacio en piso	Utilidades generadas por día

Estas unidades de medida nos permiten determinar la eficiencia, que es la razón de la salida actual y la capacidad efectiva, o bien :

$$Eficiencia = \frac{\text{Salida Actual}}{\text{Capacidad Efectiva}}$$

La Utilización que es la relación de salida actual y diseño de capacidad, o bien:

$$Utilización = \frac{\text{Salida Actual}}{\text{Capacidad de Diseño}}$$

A continuación se presentan los factores que resultan determinantes para una utilización efectiva de la capacidad.

3.1.4.3 Determinantes de la capacidad efectiva

Algunas de las decisiones que se toman tienen un gran impacto en la capacidad, la cual depende tanto de factores humanos como de maquinaria, por ello es que se consideran como los principales factores de la capacidad efectiva a los siguientes:

FACILIDADES: Esto incluye el diseño, localización, tamaño y distribución de la planta, así como el ambiente operativo (iluminación, ventilación, etc.); la posibilidad de su crecimiento, costos de transportación, y aquellos factores que afectan el desempeño de los trabajadores.

PRODUCTOS O SERVICIOS: Esto incluye el diseño y la mezcla de productos o servicios. En el caso de productos, si estos son elaborados con el mismo equipo, es un factor que mejora la utilización del equipo, sin embargo esto presenta algunas divergencias al compararlo con una empresa de servicios, en esta última muchas veces los servicios ofrecidos son personalizados o modificados al gusto del cliente.

PROCESOS: Capacidad cuantitativa y cualitativa de la planta, se debe determinar cuantas y cuales actividades son críticas en el control del proceso, para tener un producto final con calidad, para evitar rechazos, retrabajos y hacer más rápido el proceso al evitar las inspecciones (que no le agregan valor al producto).

CONSIDERACIONES HUMANAS: La motivación, el entrenamiento, compensaciones, el reconocimiento a la experiencia y al desempeño son factores que deben ser observados ya que la mano de obra es un recurso muy importante en la empresa, y con esto se reducen el abstencionismo y los cambios de humor que afectan directamente a la producción.

OPERACIONES: El contar con una programación adecuada, implica una eficiente administración de materiales, buena asignación de mantenimientos, reducción de los tiempos improductivos y averías en equipos para asegurar la calidad.

FUERZAS EXTERNAS: Las políticas de la región en donde se localice la empresa afectan su planeación de capacidad, por ejemplo: leyes de protección ambiental, reglamentos de seguridad e higiene, sindicatos, etc.

3.1.4.4 Determinantes de los requerimientos de capacidad.

La planeación de la capacidad se realiza en términos de largo y corto plazo; en el primero de los casos se emplea la demanda durante un cierto horizonte de tiempo a fin de poder contar con la información necesaria para estimar la capacidad requerida, ya que la respuesta a los requerimientos no se espera con prontitud.

Para el corto plazo también se espera obtener información de las demandas, a fin de contar con una identificación rápida de los patrones cíclicos de comportamiento; como los que se muestran en la siguiente tabla:

Periodo	Artículos
Año	Ventas de cerveza, juguetes vendidos, tráfico en aerolíneas, vestidos, turismo, vacaciones, consumo de gasolina, deportes y recreación, educación
Mes	Cheques de seguro social y salud, transacciones bancarias.
Semana	Venta al menudeo, tráfico y renta de automóviles, comidas en un restaurante, registros en hotel.
Día	Llamadas telefónicas, tráfico vehicular, transporte público, utilización de salones de clase, ventas a detalle, comidas en un restaurante.

Dependiendo del tipo de demanda la función de probabilidad usada para su cálculo puede ser la normal, la uniforme o la Poisson, una de las grandes diferencias existentes entre los productos y los servicios es que en los primeros la programación es más sencilla y estandarizada, en cambio los servicios (por ejemplo los bancarios) cuentan siempre con una gran variabilidad, lo cual dificulta su programación.

El lazo de unión entre la mercadotecnia y las operaciones, debe ser fuerte y confiable ya que de los estudios realizados para conocer la demanda dependen de las consideraciones para determinar las capacidades de producción en el corto y largo plazos.

3.1.4.5 Desarrollo de alternativas de la capacidad

Además de las consideraciones de orden general, deben de ser observadas algunas consideraciones relevantes:

Diseño flexible en los sistemas: La capacidad de planear a largo plazo involucra el conocimiento de los riesgos y posibles beneficios a alcanzar en ese tiempo; por ello es que debe de considerarse la flexibilidad para adaptarse a la nueva tecnología, expandir la planta o contraerla, además de las características ya mencionadas en otras secciones (distribución, localización, control de las materiales, de los inventarios, etc.)

Tomar una "gran foto" aproximada a los cambios de capacidad: La madurez o el nacimiento de productos, es un aspecto que no debe pasarse por alto al pensar en cambios de la capacidad, de allí que una buena identificación de los patrones de demanda contribuye a la disminución del riesgo de una selección inadecuada de capacidad; así como determinar si un producto se encuentra al final de su vida de mercado. Al revisar la relación que existe entre los diversos componentes (o productos) se verá que al incrementar la capacidad de producir alguno, seguramente se incrementará la necesidad de los artículos relacionados con él.

Prepararse para tratar con "socios" de capacidad: El plan de capacidad se ve modificado al involucrar "socios" de capacidad, es decir, comprar nuevo equipo para poder incrementar la capacidad deseada y factible; por ejemplo si se desea una producción de 60 unidades/hora pero el equipo actual solamente proporciona 35, se necesita contar con una máquina capaz de producir las 25 unidades que nos hacen falta ya que si utilizamos una máquina semejante a la que se encuentra funcionando tendremos un exceso de 10 unidades.

Intentar alisar los requerimientos externos de capacidad: Las desigualdades en los requerimientos de capacidad puede acarrear algunos problemas, ya que se puede caer en los extremos (sub-utilización y sobre-utilización); el caso ideal sería contar con una demanda "complementaria" que permitiera el uso intensivo de una misma maquinaria pero dedicada a otros artículos.

La forma en como el administrador ataca estos problemas es variante, es decir, ya sea que se tenga un inventario "grande" durante los periodos de alta demanda y durante el tiempo de baja demanda se dedica al reposición de ese nivel de inventario.

Identificar el nivel óptimo de operación: Es básico identificar el nivel óptimo de operación, es decir, el punto en el cual se tiene el mínimo costo por unidad para una tasa de producción determinada; esto depende de un factor de peso, el tamaño de la planta, este concepto se relaciona con la llamada economía de escala.

CAPITULO 4 TEORIA JUSTO A TIEMPO.

4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se satisfacía uno de los gustos exóticos de los aztecas como lo era el de tomar nieve, trayéndola de los picos de los volcanes para venderla en el tianguis o mercado y cuando se transportaba el pescado desde Veracruz hasta la mesa del emperador Azteca, con el único propósito de que el emperador disfrutara de un platillo realmente fresco; en ambos casos se trata de entregas *justo a tiempo*.

Ante esto, probablemente habría que hacer algunas aclaraciones acerca de quien realmente inventó el *Justo a Tiempo*, al igual que muchas otras cuestiones administrativas o de organización de la producción que seguramente están perdidas en los tiempos entre Aztecas, Mayas, Incas, Toltecas, etc.

Por lo que respecta a tiempos más recientes, en una farmacia, la manera en como se mantiene un inventario mínimo de medicinas y como el mayorista surte diariamente lo que se necesita (debido a los costos, como al reducido espacio de este tipo de establecimientos). En un negocio pequeño como una farmacia no se cuenta con mucho espacio físico, si se observa la generalidad de estos negocios solo tienen estantes con las medicinas y no hay bodegas. Son negocios de inventarios a la vista.

El procedimiento es el siguiente:

1. Todas las medicinas tienen una liga que sostiene un pequeño cartón, el cual contiene todas las especificaciones del medicamento (nombre, número de unidades a pedir y algunas veces laboratorio). En algunos casos - penicilinas por ejemplo - hay más de una tarjeta por pedido (generalmente de 6 u 8 cajitas).
2. Cada vez que se vende una medicina, el cartón se saca de la liga y se coloca en un charola.
3. Todas las mañanas los visita el representante del mayorista y vía telefónica transmite la información de todas las tarjetas que hay en la charola, con lo que se levanta el pedido.
4. Por la tarde llega el pedido, el cual se verifica que llegue completo al colocar nuevamente las tarjetas de la charola en cada medicina. De esta manera, las tarjetas sobrantes son pedidos no cubiertos.

Y así, esto se repite diariamente.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Cabe aclarar que un aspecto estratégico del proceso, es el conocer la cantidad que se requiere de cada medicina y que tipo de medicina hay que tener, información que es producto del conocimiento del mercado y del consumidor, es decir, de la experiencia del farmacéutico.

En estas como en muchas otras empresas, en la línea de producción, cada vez que falta un artículo o pieza, el encargado del ensamble llena un pedido, que es recogido por el supervisor de la línea, quien a su vez, agrupa todos los pedidos en uno solo, mismo que posteriormente entrega al encargado del almacén.

El almacenista recibe de todas las líneas de producción los pedidos correspondientes y busca en el almacén las piezas. Si no las encuentra en existencia, solicita autorización para efectuar la compra (obtiene la autorización financiera y gestiona la aprobación de la compra) o en su caso directamente la solicita al proveedor. Cuando se surte el pedido, lo verifica contra la requisición; concluida la revisión, generalmente espera a tener cubiertos todos los pedidos para entregarlos al supervisor de la línea, quien al recibirlos, por su parte verifica contra sus documentos que el pedido está completo.

Después el supervisor entrega a cada operario los pedidos (claro, se toma su tiempo en agrupar las piezas e integrar los paquetes). Por su parte los operarios verifican contra sus pedidos que las entregas correspondan a lo solicitado.

Esta es una descripción resumida, pero como puede observarse, todo el proceso consume gran cantidad de tiempo, esfuerzo y recursos. Por otra parte, debido a que no siempre se tienen las piezas solicitadas, el encargado del almacén para cumplir con su trabajo, se encarga de tener en existencias el llamado *inventario por si acaso*. Inventario que se convierte poco a poco en una carga financiera de recursos inmovilizados en compras de piezas, cuya única utilidad es para cuando se necesiten, estos inventarios ocupan espacio, necesitan de control y generalmente se dañan o deterioran mientras más tiempo pasan en el almacén.

Surge la pregunta, ¿Cómo aplica el sistema de la farmacia en estas empresas?

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Casi igual:

1. Las piezas tienen tarjetas identificadoras, con las especificaciones, generalmente una por pieza.
2. Cada vez que la pieza es utilizada, se coloca la tarjeta identificadora en una charola.
3. Los proveedores diariamente recogen estas tarjetas. El mismo día o al siguiente surten las piezas especificadas, las cuales se colocan en la línea de producción en el lugar de cada operario (con colores y otras señas se precisa a quien corresponden)
4. Posteriormente los proveedores pasan sus facturas para pago, las cuales se verifican con base en los productos armados y su correspondencia con las piezas que los integran.

El resultado es que no hay inventario, las piezas comúnmente llegan justo a tiempo para ensamblarse. Algunas empresas con lectoras ópticas (scanners) y códigos de barras controlan el proceso y generan los pedidos vía modem.

4.2 DEFINICIÓN DE JUSTO A TIEMPO.

"Definición: JIT es una filosofía de operaciones, basada en la mejora continua y la eliminación del mal uso de una compañía."⁷

"Justo a Tiempo significa que, en un proceso continuo, las piezas adecuadas necesarias para el montaje deben incorporarse a la cadena de montaje justo en el momento que se necesitan y sólo en la cantidad en que se necesitan."⁸

El Justo a Tiempo (JIT por sus siglas en inglés Just in Time) es un sistema de producción para empresas manufactureras, el cual tiene por objetivo disminuir el inventario al mínimo necesario para así evitar costos innecesarios. Es un sistema de producción repetitiva, en el cual la producción de bienes y servicios ocurren justamente cuando se necesita, usualmente en pequeños lotes.

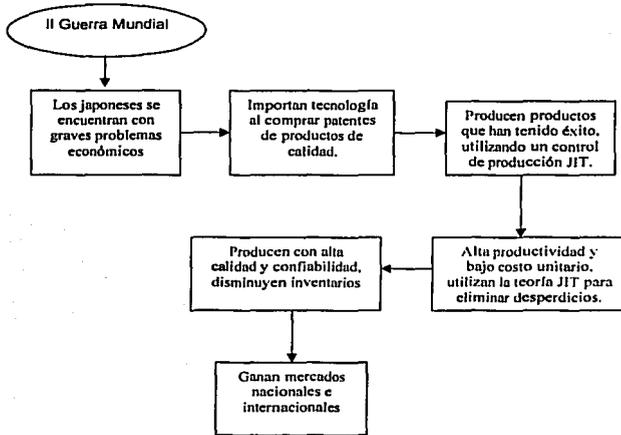
⁷ Hamid Noori, Russell Radford, "Production and Operations Management -Total Quality and Responsiveness-" Ed. Mc. Graww-Hill, pp-524

⁸ Taiichi Ohno, "El sistema de producción TOYOTA" mas allá de la producción a gran escala. Ed. Gestión, Barcelona, pp 28-29

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

La teoría Justo a Tiempo fue desarrollada inicialmente por Toyota, para después trasladarse a muchas otras empresas de Japón y del mundo; ha sido el mayor factor de contribución al desarrollo de las empresas japonesas.

En el siguiente diagrama se muestra de forma general como los japoneses desarrollaron la teoría Justo a Tiempo:



Los japoneses son los primeros en utilizar la teoría Justo a Tiempo y compiten con dos armas: *precio y calidad*. Esto ha propiciado que las empresas de todo el mundo se interesen por conocer que es y como funciona esta teoría.

La primera razón que está detrás de este concepto, es que puede reducir inventarios, tiempos y costos de producción, así como mejorar la calidad de los productos y servicios.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

"En la filosofía JIT hay tres importantes componentes básicos para eliminar el desperdicio:

- El primer componente básico es imponer equilibrio, sincronización y flujo del proceso fabril, ya sea donde no existan o en donde no se pueda mejorar.
- El segundo es la actitud de la empresa hacia la calidad: "la idea de hacerlo bien a la primera".
- El tercer componente es la participación de los empleados.⁹

La idea básica del *Just in Time* es producir un artículo justo a tiempo para que este sea vendido o utilizado por la siguiente estación de trabajo en un proceso de manufacturas. Debido a que el inventario es considerado la raíz de muchos problemas en las operaciones, este debe ser eliminado o reducido al mínimo.

El Justo a Tiempo puede reducir la necesidad de inventarios lo bastante para reducir las fuentes de incertidumbre o diseñar un sistema más flexible para enfrentar las necesidades de cambio. De ahí que la orientación del Justo a Tiempo sea diferente de los sistemas tradicionales.

Para reducir inventarios y producir el artículo correcto en el tiempo exacto, con la cantidad adecuada, se requiere de información acerca del tiempo y el volumen de los requerimientos de producción de todas las estaciones de trabajo. El Justo a Tiempo suministra esta información, no a través de un costoso y sofisticado sistema de cómputo, sino a través del uso de una orientación de "pull" (orientación de jalar) en lugar de la orientación convencional de "push" (de empujar).

La orientación "push" comienza con una orden en el centro de trabajo inicial. Una vez que el trabajo es completado en la primera estación de trabajo, este se mueve al siguiente centro de trabajo, este proceso continua hasta el final de la estación de trabajo. Como puede advertirse, el trabajo es disparado al completarse el trabajo de la estación precedente y no en relación a las necesidades de la siguiente estación de trabajo.

Por el contrario, en la orientación "pull" o de jalar, las referencias de producción provienen del precedente centro de trabajo, entonces la precedente estación de trabajo dispone de la exacta cantidad para sacar las partes disponibles a ensamblar o agregar al producto. Esta orientación significa comenzar desde el final de la cadena de ensamble e ir hacia atrás hacia todos los componentes de la cadena productiva, incluyendo proveedores y vendedores. De acuerdo a esta orientación una orden es disparada por la necesidad de la siguiente estación de trabajo y no es un artículo innecesariamente producido.

⁹ Edward J. Hay, "Justo a Tiempo" La técnica Japonesa que Genera Mayor Ventaja Competitiva, Ed. Norma pp3.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Es decir, producir y servir productos acabados justo a tiempo de ser vendidos, producir partes justo a tiempo de ser ensamblados y formar los productos acabados, producir semielaborados justo a tiempo de ser convertidos en partes o en otros semielaborados, y comprar materias primas justo a tiempo de ser incorporadas en el proceso de fabricación.

En la producción justo a tiempo, el objetivo es reducir el inventario en lo posible y satisfacer la demanda del cliente.

La orientación "pull" es acompañada por un sistema simple de información llamado *KANBAN*¹⁰ que es una tarjeta que se pasa de una subsecuente estación de trabajo hacia su precedente y esta señala una corrida de producción.

Así la necesidad de inventario para el trabajo en proceso se ve reducida por el empalme ajustado de la etapa de fabricación. Esta reducción ayuda a sacar a la luz cualquier pérdida de tiempo o de material, el uso de refacciones defectuosas y la operación indebida del equipo.

Con el Justo a Tiempo, el ensamblado general de producción dicta el ritmo y los requerimientos de producción para los procesos precedentes.

No obstante, la programación del ensamble debe ser tan "suave" y repetitiva como sea posible. Cualquier fluctuación en la mezcla de artículos producidos en el proceso general, podría crear variaciones en los requerimientos de producción de las estaciones precedentes. Variaciones grandes en cualquier centro de trabajo, necesitan indeseables grandes inventarios en proceso o capacidades productivas que permitan enfrentar los picos de demandas.

Ninguno de estos aspectos es permitido en el "Justo a Tiempo", por el contrario, cada artículo se produce con el mínimo lote de componentes. Adicionalmente, la mezcla del producto terminado puede ser cambiada periódicamente, hasta mensualmente para adaptarse a las demandas del mercado.

Debido a que la incertidumbre ha sido eliminada, el control de calidad es esencial para el éxito de la instrumentación del "Justo a Tiempo"; el sistema no funcionará si ocurren fallas frecuentes y largas, crea la ineludible necesidad de maximizar el tiempo efectivo y minimizar los defectos, a su vez, se requiere de un programa vigoroso de mantenimiento.

La mayoría de las plantas japonesas operan con sólo dos turnos, lo que permite un mantenimiento completo durante el tiempo no productivo y tiene como resultado una tasa mucho más baja de fallas y deterioro de maquinaria que en Estados Unidos.

¹⁰ Ver sección 6.3 *KAMBAN*

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

La presión para eliminar los defectos se hace sentir, no en la programación del mantenimiento, sino en las relaciones de los fabricantes con los proveedores y en el trabajo cotidiano en línea.

"El mensaje que deseamos comunicar a las empresas es: la fabricación justo a tiempo puede dar buenos resultados en cualquier ambiente fabril, en cualquier industria"¹¹

El JIT se divide en :

Gran J.I.T. Es una forma de diseñar y controlar las operaciones productivas y comprende: Relaciones humanas, Relaciones con proveedores, Tecnología y Administración de materiales.

Pequeño J.I.T. Comprende los métodos de control de producción, específicamente a las entregas justo a tiempo y a la administración de inventarios.

4.3 PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO.

La producción justo a tiempo no permite una inspección minuciosa de las partes que arriban, por ello, los proveedores deben mantener niveles de calidad altos y consistentes, y los trabajadores deben tener la autoridad para detener las operaciones si identifican defectos u otros problemas de producción.

Esto significa que se deben producir las cantidades necesarias en el momento necesario, no antes ni después, para lograr un desempeño con una variación cero en tiempos de programa. Producir una pieza más, es tan malo como producir una pieza menos, ya que es un desperdicio todo aquello que no forma parte del mínimo necesario.

Para lograrlo se requiere:

- Invertir lo mínimo en inventarios.
- Reducir los tiempos de entrega de la producción.
- Reaccionar más rápidamente ante los cambios de la demanda.
- Descubrir cualquier problema de calidad.

JIT significa abandonar la distinción entre los operarios de producción y el personal de apoyo especializado, como ajustadores y controladores de calidad.

¹¹ Edward J. Hay, "Justo a Tiempo" La técnica Japonesa que Genera Mayor Ventaja Competitiva, Ed. Norma pp3.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

El énfasis está en simplificar y estandarizar estas funciones especializadas para que puedan ser efectuadas por el operario de producción. Es necesario que las empresas tengan programas maestros de producción estables, tiempo de preparación cortos y suministros de materiales frecuentes y dignos de confianza, para que puedan alcanzar todo el potencial del concepto JIT.

" Siempre tendremos pedidos pendientes, porque la línea de producción tendrá paros y la producción irá retrasada..."

La mentalidad de los directores de empresa a la hora de pensar en JIT es que deberían de acelerar la producción para compensar las posibles carencias debido a la falta de inventario, para poder terminar a tiempo los productos y enviarlos a su destino final cumpliendo los plazos establecidos con los clientes. Esto deriva según sus previsiones en que la línea de producción estaría siempre sufriendo paros, lo cuál retrasaría la producción.

Los directores de producción intentan compensar los posibles retrasos del departamento de compras con un aumento de la productividad, ya que aunque se produzcan demoras en la recepción de las materias primas o recepciones de materiales en malas condiciones, los retrasos en la entrega de los productos finales son totalmente inaceptables.

El departamento de compras, por su parte, intenta que no se produzcan estos retrasos, para evitar en la medida de lo posible, los retrasos en la producción. Pero lo que los directores y directivos de producción no llegan a comprender en este caso es la auténtica filosofía del JIT.

El JIT convertirá a la empresa en una máquina de engranajes perfecta, en la que las precisas aportaciones de cada departamento derivan en un funcionamiento perfecto de la maquinaria en su conjunto.

La no implantación del JIT deriva en un círculo vicioso en la que el intento de mantener los plazos de entrega a pesar de los retrasos provoca retrasos en los siguientes productos a manufacturar, volviendo de nuevo al principio de la problemática.

El método JIT elimina de raíz esta problemática, basándose en la eliminación de las colas de existencias, ya que las materias primas se entregan 'justo a tiempo', de forma que el ciclo de producción se reduce generalmente en un 90 % o más.

Como los productos semiterminados no tienen que esperar en el almacén, a que lleguen las nuevas piezas, el tiempo real invertido en la transformación del producto representa realmente el 5 % del tiempo total correspondiente al ciclo completo de producción. El JIT ataca directamente al tiempo de espera del producto, eliminando los tiempos de espera .

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

El ciclo de producción por lo tanto no necesita ser acelerado, ya que incluso se reducen los plazos de entrega de los productos terminados; el departamento de compras, realizará su función con una mayor precisión, consiguiendo que los materiales estén a tiempo en la línea de producción, con lo cual, la producción no sufrirá retraso alguno, consiguiendo además una total interrelación entre ambos departamentos.

El JIT es un concepto diferente pues siempre hemos esperado superar lo programado. Para muchos es difícil de aceptar pues todos siempre han buscado almacenar materiales "por si algo sale mal".

El ahorro monetario en inventarios es un resultado de la efectiva implantación del JIT ya que proporciona la cantidad vendible de los productos. El éxito del JIT es que rápidamente adapta la producción a las modificaciones de la demanda.

4.4 FILOSOFÍA DEL JIT, COMO OPERA Y BENEFICIOS.

Beneficios del Justo a Tiempo:

- Disminuye las inversiones para mantener el inventario.
- Aumenta la rotación del inventario.
- Reduce las pérdidas de material.
- Mejora la productividad global.
- Disminuye los costos financieros.
- Disminuye los costos de producción.
- Menor espacio de almacenamiento.
- Se evitan problemas de calidad, cuellos de botella, problemas de coordinación, proveedores no confiables etc.
- Racionaliza los costos de producción.
- Disminuye los desperdicios.
- Conocimiento eficaz de desviaciones.
- Toma de decisiones en el momento justo.
- Cada operación produce sólo lo necesario para satisfacer la demanda.
- No existen procesos aleatorios ni desordenados.
- Los componentes que intervienen en la producción llegan en el momento de ser utilizados.

A continuación se describen los pasos que se deben de realizar antes de introducir JIT en una empresa.

Paso 1 : Revolución de conocimiento.

Significa que se debe de abandonar el concepto viejo de manejar los procesos de producción y adoptar la filosofía JIT, que consta de 10 principios para mejorar:

1. Retirar conceptos de la tradición vieja.
2. Asumir el nuevo método con el cual se trabajará.
3. Ninguna excusa se acepta.
4. No se busca la perfección con un proceso de cero-defecto, pocos defectos son aceptables.
5. Los errores deben ser corregidos inmediatamente.
6. No gastar dinero en mejora.
7. Use su cabeza para resolver los problemas.
8. Preguntarse Repetidamente 5 veces antes de tomar alguna decisión.
9. La información que surge de varias personas es mejor, "Dos cabezas piensan mejor que una".
10. Recuerde que esa mejora no tiene ningún límite, siempre habrá algo que mejorar, nunca se debe de conformar.

El punto principal es tener un conocimiento de la necesidad de abandonar el sistema viejo y adoptar uno nuevo.

PASO 2 : 5 S's para mejora de la estación de trabajo.

Seiri - Separar / seleccionar: El Arreglo Apropiado, significa ordenar todo lo que usted tiene, identificando las necesidades y tirando absolutamente todo lo innecesario.

Un ejemplo es utilizar la etiquetación en los productos, es decir, si se realizan varios productos se etiquetan, por ejemplo con una cinta de color rojo, la cual ayuda a decir que características tiene ese producto (Color, Textura, Tamaño, Grosor, etc.) y entonces se colocan estas etiquetas rojas hacia cada caja que se encuentre en el inventario.

Refuerza la comodidad para saber el estado del inventario y puede reducir costo. Ejemplo de esto es en la empresa Jumbolon de México, en la cual ellos identifican sus productos por medio de una cinta de color (Rojo, Café, etc.) en la cual cada color identifica un tipo de rollo (Características tales como grosor, ancho, largo, color, etc.).

Seiton – Organizar Significa hacer las cosas en orden. Los ejemplos incluyen guardar herramientas en sus respectivos estantes y en orden, conservar áreas de almacenamiento y de trabajo en orden, conservar las mesas de trabajo en orden y conservar la oficina en orden.

Seiso – Limpiar Significa tener un área de trabajo limpia, equipo, etc.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Siketsu – Estandarizar Significa la polivalencia de los productos.

Shitsuke - Disciplina / hábito Los medios de Disciplina para seguir las reglas y hacerlas un hábito.

Estas 5S's deben llevarse a cabo a lo largo y ancho de la compañía y ésta debe ser parte de un programa de mejora total.

PASO 3 : flujo de fabrica.

Hay varios puntos principales acerca del flujo de fabricación:

1. Se deben de colocar las máquinas en sucesión.
2. Fabricación celular.
3. Produzca un pedazo en un momento.
4. Obreros entrenados y multi -experimentados.
5. Siga el tiempo de ciclo.
6. Permitir a los obreros estar de pie y dar una vuelta mientras se encuentran trabajando.
7. Usar máquinas pequeñas y especializadas.

PASO 4 : manejo de multi - procesos.

El Multi- proceso es cuando un obrero es responsable de varios procesos en una célula y hacen un uso eficiente de la célula de Manufactura en forma de U. Los obreros son Multi-experimentados.

PASO 5 : operaciones estandares

Las operaciones estándares significan producir con calidad y reducir costos a través de las reglas eficaces y métodos de colocación de personas, productos y máquinas.

La base de las operaciones estándares son:

1. *El tiempo de ciclo.*- significa cuánto tiempo tomaría "llevar a cabo toda la producción a través de la célula". Seguir las ecuaciones durante tiempo del ciclo interesado.
2. *La Cantidad diaria Requerida* = La Cantidad Mensual que necesitó / Días Trabajados por mes.
3. *Tiempo de Ciclo* = Las horas de trabajo por día / La Cantidad Diaria Requerida
4. La sucesión de trabajo
5. La acción en tiempo normal

6. Usar mapas de funcionamiento

Los 6 pasos anteriores son la base para introducir el JIT en una empresa.

Para conseguir una buena aplicación del JIT se debe poner el sistema en marcha tras estudiar a fondo distintas experiencias en otras empresas; educar a todos los participantes en el proceso, empezando por los propios suministradores, sin olvidar el último extremo de la cadena: el valor para los clientes. Conseguir mejoras del proceso, pues en todos los casos es viable reducir tiempos y movimientos para simplificar operaciones.

Acentuar los controles de calidad, sobre todo con base en la relación muy especial que se mantiene con los suministradores. Ampliar la relación proveedor / cliente, hasta convertirlos virtualmente en una misma empresa.

Todas las mejoras que incluye el sistema JIT se pueden englobar en la Teoría de los 5 ceros:

- Cero tiempo al mercado.
- Cero defectos en los productos .
- Cero pérdidas de tiempo .
- Cero papel de trabajo .
- Cero stock .

4.5 RELACIÓN ENTRE EL JIT Y LA CALIDAD.

Con los sistemas JIT se intenta eliminar los desperdicios y la necesidad de hacer rectificaciones en el trabajo, a fin de que el flujo de materiales sea uniforme. Para que dichas operaciones sean eficientes, es necesario observar las especificaciones del producto o servicio en cuestión y aplicar los métodos estadísticos y de comportamiento que corresponden a la administración de la calidad total (TQM). En los sistemas JIT se controla la calidad desde la fuente, por que los trabajadores actúan como sus propios inspectores de calidad.

Aumentar la habilidad de la organización para competir con otros y permanecer siempre en la carrera para ser competitivo. La competitividad de las empresas es aumentada por el uso de JIT, la competitividad de las empresas aumenta cuando las empresas pueden desarrollar procesos industriales mas óptimos.

El sistema JIT es de gran ayuda y apoyo para el mantenimiento Industrial. Para poder implementar un programa de Mantenimiento Total Productivo (TQM), es necesario contar con herramientas como las 5 S's, Kanban, y Justo a Tiempo. Con Justo a tiempo se reducirá de manera significativa el tiempo de preparación de los materiales y equipos; esto ayudará a que las operaciones de mantenimiento se lleven a cabo de una manera mas fluida y precisa.

4.6 Sistema KAMBAN (Sistema de control del avance de la producción)

"Es un sistema de información para controlar de modo armónico las cantidades producidas en cada proceso o etapa, también llamado Kamban; es autorregulable y se utilizan contenedores y tarjetas reciclables".

Es una técnica de ejecución para generar reposición de productos o subensambles, se orienta solamente a reponer los artículos tan pronto son consumidos. Se le llama sistema de arrastre ya que las ordenes de producción vienen de etapas que se encuentran más adelante. Es la herramienta básica para obtener el JIT.

Reglas básicas del kamban:

1. Debe moverse sólo cuando el lote que se describe se haya consumido.
2. No se permite el retiro sin un Kanban.
3. El número de partes enviadas al proceso subsiguiente debe ser exactamente especificado por el Kanban.
4. Un Kanban debe acompañar siempre a los productos físicos.
5. El proceso precedente siempre debe producir sus partes en las cantidades retiradas por el proceso subsecuente.
6. Las partes defectuosas nunca deben ser enviadas al proceso subsecuente.
7. El Kanban debe ser procesado en todos los centros de trabajo de manera estricta en el orden que tengan estos.

4.7 JIDOKA Calidad en el proceso y autocontrol de defectos, Calidad Asegurada

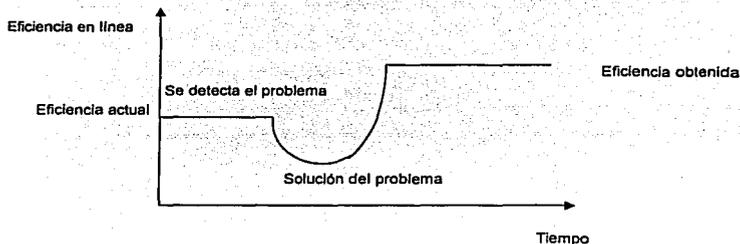
Es un sistema en el que la gerencia tiene confianza en sus trabajadores, es un concepto de calidad que significa: "Detengan todo cuando algo salga mal", lo que equivale a controlar la calidad de la fuente ya que el trabajador debe convertirse en su propio inspector.

Fue desarrollada por Taichi Ohno, quien estableció que una pieza debe ser fabricada por un trabajador. El JIDOKA también comprende la inspección automatizada, que en ocasiones se le llama automatización.

En el Japón se alienta a detener la línea cuando hay problemas, Ohno sostiene que un día sin una práctica de JIDOKA, es señal de que la gente está trabajando mal. En Japón el 1% de los trabajadores de toda planta son los inspectores de toda calidad; en América son aproximadamente el 10%.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

En el siguiente diagrama se muestra la eficiencia obtenida al detener el proceso cuando se detecta un problema.

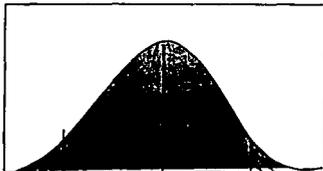


La calidad obtenida de un producto es mayor al ser el trabajador el inspector de su propio trabajo, ya que es más fácil detectar las fallas en el momento de cometerlas que en procesos Posteriores.

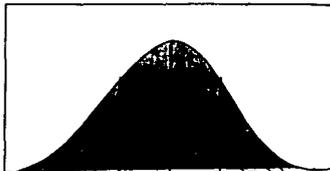
Como vimos en capítulos anteriores, en el control de calidad existe una banda de tolerancia permisible para las desviaciones estándar del proceso, es decir defectos tolerables del producto. En el caso de producción japonés estas bandas son más estrechas que en el caso americano, lo que nos lleva a una mejor calidad de los productos japoneses.

A continuación se muestra la calidad obtenida con los conceptos: "Hacer bien a la primera vez" y "Cada trabajador es supervisor de su propio trabajo"

Enfoque JIT
Banda de tolerancia permisible



Enfoque Americano
Banda de tolerancia permisible



Lo que se necesita es un esfuerzo controlado y general para depurar las tendencias que proporcionan la aparición de defectos.

4.8 SISTEMAS DE CONTROL DE PRODUCCIÓN DE JIT.

4.8.1 Redes de fábricas especializadas

En lugar de constituir una gigantesca fábrica, en donde se haga todo, se deben construir pequeñas plantas especializadas, tomando en cuenta que entre mas grande es la fábrica es más difícil administrarla ya que crece la burocracia.

Una planta o fábrica diseñada para un propósito específico se puede construir y mejorar de manera más económica que una universal ya que resulta más económico comprar una máquina-herramienta específica que adaptar una máquina a un trabajo universal.

La siguiente tabla muestra la cantidad de fábricas japonesas y la cantidad de personal utilizado en 1990:

Cantidad de fábricas	Cantidad de empleados
750	Más de 1000 empleados
Aproximadamente 60,000	Entre 30 y 1000 empleados
Más de 180,000	Menos de 30 empleados

Las fábricas que han tenido los principales avances en la productividad se encuentran en el grupo de entre 30 y 1,000 empleados; un ejemplo de estas empresas es Ford Motor Company vs. Toyota en la construcción de un eje de transmisión.

4.8.2 Tecnología de grupos: Diseño de proceso

Antiguamente, en una fábrica, cada uno de los grupos de maquinaria se controlaba ordenado por secciones, y cada máquina era manejada por un trabajador. Por ejemplo un tornero maneja un torno.

Ahora con el JIT, la disposición de las máquinas deberá modificarse, adaptándose al flujo nivelado de la producción, en consecuencia un trabajador manejará 3 tipos de máquina, podrá manejar la fresa, el torno y el taladro, por ejemplo.

A este sistema se le denomina *MULTIPROCESO*, en otros términos ya no existe el trabajador especializado, concepto que prevalecía anteriormente. Con el JIT se ha convertido en *trabajador polivalente*.

En una línea multiproceso un trabajador maneja varias máquinas en procesos diversos hasta completar el tiempo del ciclo. Como resultado, *la entrada de una unidad en la línea se ve compensada por la terminación de otra unidad del producto.*

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ventajas de la Polivalencia:

- a) Se elimina en cada proceso la existencia innecesaria.
- b) Se reduce el número de trabajadores necesarios.
- c) Se puede participar en el sistema total de la fábrica.
- d) Se integra el trabajador en equipos y participa del sistema total de la fábrica.

Tasa de Polivalencia:

$$T.P. = \frac{\text{Número de procesos que cada trabajador l ha dominado}}{(\#total de procesos de la sección) \quad (\text{número de trabajadores})}$$

4.8.3 Carga uniforme de la planta: nivelado de la producción.

Para aplicar el concepto JIT, es necesario que el flujo de la producción tenga el máximo de uniformidad dentro del taller. El objetivo es absorber las reacciones normales ante variaciones de los programas de trabajo, así al implantar un cambio substancial por variar la demanda específica del pedido varía todo en la planta, se dice que es suficiente que varíe un 10% para que adentro de la planta se altere un 100%.

Los japoneses sostienen que la única forma de anular las variaciones, es hacer que las perturbaciones finales sean lo mas pequeñas posibles. Las compañías lo logran estableciendo un firme plan de producción mensual, donde se congela la tasa de producción, planificado la misma mezcla de productos todos los días, en lotes diversos de 10 unidades.

Tiempo de Ciclo:

Es el periodo de tiempo transcurrido entre 2 unidades idénticas. El JIT no se preocupa de alcanzar las velocidades estipuladas en los catálogos de las máquinas, se producen solo la cantidad necesaria de artículos por día.

El tiempo de ciclo es un indicador de cómo acomodar los recursos para cumplir con la producción del mes, si cambia la tasa del siguiente mes, se configura nuevamente los recursos humanos.

Condiciones para aplicar el Kanban :

Los programas de producción están al ras, los artículos se producen en forma regular, pero aceptan cierta variación. La capacidad es flexible y puede aumentarse en muy corto tiempo, para manejar pequeñas cargas en exceso, el flujo de producción es cuidadosamente planeado; se utilizan tamaños standard de recipientes, conteniendo cada uno, una cantidad fija de artículos.

4.8 EJEMPLOS DE APLICACIÓN JIT.

TOYOTA (caso típico)

A Toyota se le conoce normalmente como el fundador del sistema JIT Industrial y este concepto ha sido impartido en la actualidad en las clases de Manufactura en muchas universidades del mundo.

Pero aún después de tantos años de aplicar esta filosofía en su compañía, TOYOTA admite que todavía no domina bien este arte ya que TOYOTA, y en general Japón, ven a esta filosofía como un proceso de mejora continua. "Nosotros en TOYOTA pensamos que nunca estamos en JIT perfecto, siempre estamos buscando algo para mejorar"¹², dice Lewis gerente de asistencia técnica de TOYOTA en su planta de Fremont, California, Estados Unidos, "Nosotros siempre estamos trabajando para lograr la verdadera meta del JIT, Mejorar, Mejorar, Mejorar..."

En 1993 la planta de General Motors en Saginaw, Michigan estaba en peligro de cerrar sus puertas a causa de la baja productividad, los empleados se quejaban del carácter tedioso y repetitivo de sus tareas. La gerencia y el sindicato convinieron tratar de resolver el problema conjuntamente, la filosofía JIT fue la guía para las actividades de reforma; los resultados fueron sorprendentes, la moral se elevó por que los nuevos métodos de trabajo fueron elaborados, en gran parte, por los propios trabajadores. En 1995, la productividad se aumentó en 14%, la proporción de piezas defectuosas se redujo en 58 %, y la empresa ganó un contrato con TOYOTA para abastecer a la planta en Georgetown, Kentucky.

Una planta manufacturera de la Costa Oeste de los EE.UU., acostumbraba producir grandes volúmenes de sub-ensambles de tubo para sus productos, con aparentes ahorros gracias a producirlos en "serie". Era sin embargo, bastante frecuente que se tuvieran que hacer modificaciones a los sub-ensambles ya producidos por cambios en el diseño, otros casos aún peores era cuando nada se podía utilizar por cambios drásticos.

¹² Taichi Ohno, "El Sistema de Producción TOYOTA", Tercera Ed. 1998, pg 58.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Hoy día, están produciendo en base a una programación diaria, terminando cada sub-ensamble solo unas horas o minutos antes de que el sub-ensamble se debe entregar al ensamble mayor. Otros problemas se resolvieron al mismo tiempo: espacio para almacenamiento, transportación, eventualidades tales como raspones y toda clase de daños, además del dinero invertido en materiales y mano de obra que no se estaban capitalizando por su tardanza al entrar al producto final.

Un fabricante de productos médicos en California tenía un área de recibo con una bodega tradicional ocupando más de 2,000 metros cuadrados, la distancia promedio a las líneas de producción era de más de 400 metros. Hoy operan en base a cinco mini-áreas de recibo de unos 40 metros cuadrados cada una y están ubicadas en el mismo piso a sólo unos metros de las líneas de producción. El tiempo promedio de almacenamiento de materia prima se ha reducido de más de 48 días a poco menos de dos días, y aún están pensando en reducirlo.

Simplemente se trata de desarrollar una buena relación y asegurar la confiabilidad de los proveedores y programar las entregas de una manera precisa. Esto se facilita con los sistemas de cómputo tan accesibles que existen ahora.

4.9 EL JUSTO A TIEMPO II

El concepto de JIT II fue concebido e implementado por la BOSE corporation, una empresa que fabrica altavoces y sistemas profesionales de sonido de alta calidad, en un sistema JIT II, se invita al proveedor a la planta para que participe como miembro activo de la oficina de compras del cliente. El representante en la planta permanece en esta en horario de tiempo completo, a expensas del proveedor, y tiene facultades para planear y programar el abastecimiento de materiales que realizará dicho proveedor.

En general el JIT II ofrece los siguientes beneficios para el cliente:

- a) Liberado de tareas administrativas, el personal de compras puede concentrar su energía en el mejoramiento de la eficiencia en otras funciones a su cargo.
- b) La comunicación y la presentación de ordenes de compra mejoran en forma espectacular.
- c) El costo de materiales se reduce de inmediato y los ahorros son incesantes.
- d) Los proveedores preferidos son incorporados al proceso de diseño de productos en fechas mas tempranas.
- e) Se proporciona una base natural para el intercambio electrónico de datos (EDI), el manejo eficaz de documentos y ahorros de carácter administrativo.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

En general el JIT II ofrece los siguientes beneficios para el proveedor:

- a) Elimina el esfuerzo de ventas.
- b) La comunicación y la presentación de ordenes de compra mejoran en gran medida.
- c) El volumen de las operaciones de negocio aumenta al principio del programa y continua creciendo a medida que se presentan nuevos productos.
- d) Se obtiene un contrato de tipo indefinido, sin fecha de terminación y desaparece la necesidad de presentar nuevas licitaciones.
- e) El proveedor se puede comunicar con el departamento de ingeniería para venderle material en forma directa.
- f) La facturación y la administración de pagos son eficientes.

Varias grandes corporaciones han implementado el JIT II en sus cadenas de suministros, IBM e Intel tienen mas de 50 proveedores JIT II incorporados a sus instalaciones. At&T, Honeywell, Roadwat Express, Ingersoll-Rand y Westinghouse también aplican este sistema.

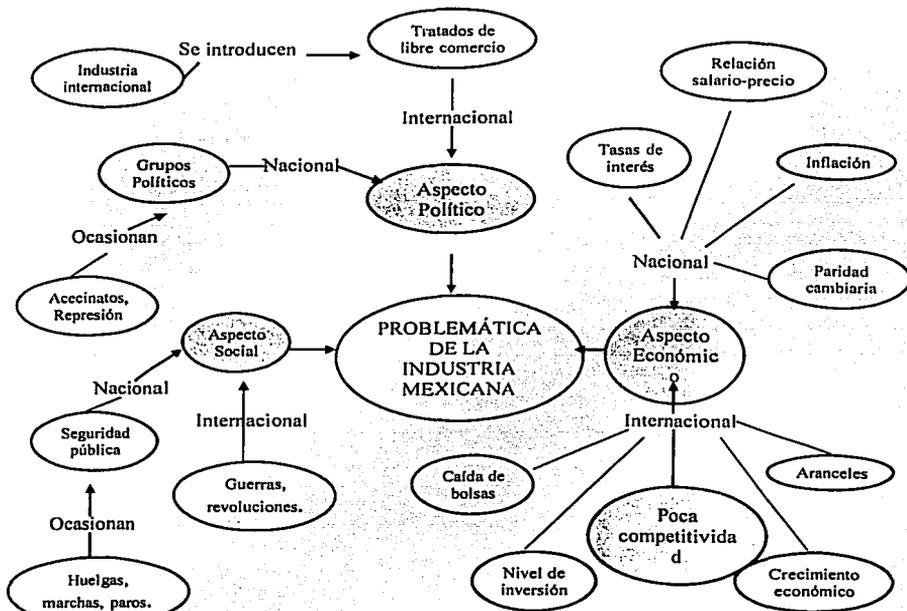
El JIT II representa un adelanto sobre otros sistemas JIT, por que aporta la estructura organizacional necesaria para lograr la coordinación con los proveedores, integrando los procesos de logística producción y compras.

CAPITULO V CREACIÓN DEL MODELO DE PRODUCCIÓN.

5.1 INTRODUCCIÓN

La problemática de la industria Mexicana puede ser definida por cuestiones políticas, sociales o económicas.

En el siguiente cuadro se muestra de forma general la problemática de la industria mexicana :



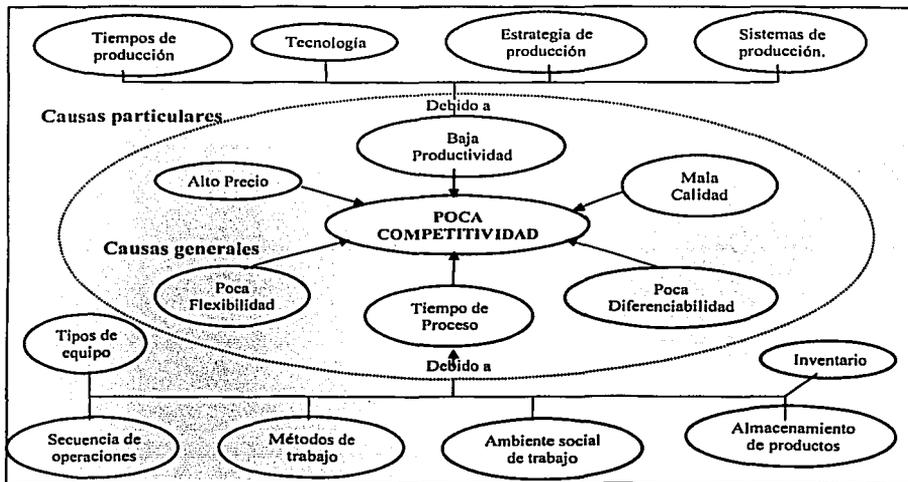
DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Dentro del aspecto político la problemática de la empresa mexicana, los tratados de libre comercio internacionales introducen a la industria extranjera, que muchas veces compete con precios mas bajos y/o mejor calidad; esto se debe, entre otras causas a que la maquinaria utilizada es más eficiente y las nuevas tecnologías de producción y venta llegan tarde a nuestro país.

El aspecto social representa un problema a la industria mexicana ya que los conflictos nacionales como la seguridad pública y los grupos revolucionarios como lo son el EZLN, EPR, etc. y la estructura sindical de la empresa afecta la inversión extranjera en la industria mexicana debido a paros, huelgas, manifestaciones, robos, secuestros, asesinatos, etc.

Dentro del aspecto económico nacional, el problema de la industria mexicana se debe a las altas tasas de interés en los prestamos bancarios, la relación costo precio que los productores deben aplicar a sus productos, ya que el costo de la materia prima se ve afectada debido a la paridad cambiaria con el dólar americano, la inflación, etc. lo que resulta un alto precio al consumidor.

En el siguiente cuadro se delimita el problema de la industria mexicana al problema de la poca competitividad que tienen frente a las empresas extranjeras que producen o venden sus productos en México.



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

La industria mexicana se ve afectada por la poca competitividad que tiene frente a las empresas extranjeras que tienen mayor inversión, mejor tecnología y equipo, con lo que compiten con productos de mejor calidad y/o a mejores precios.

Debido a la globalización y a los tratados de libre comercio de México con otros países, las empresas mexicanas enfrentan el reto de mejorar su competitividad para poder competir nacional e internacionalmente.

Para poder enfrentar este problema, las industrias mexicanas deben de mejorar su tecnología y determinar nuevos métodos de producción a utilizar, para lo que necesitan técnicas de ingeniería y administración para mejorar la calidad de la empresa.

"Hay quienes sostienen que la técnica de ingeniería aumenta la tecnología y que la técnica administrativa la mantiene. Yo no estoy de acuerdo con esto. No veo diferencia alguna entre la tecnología de ingeniería y la tecnología de administración. La llamada tecnología de control es parte de la tecnología propiamente dicha. Es preciso utilizar toda tecnología disponible para mejorar la calidad y la eficiencia."¹³

Otro de los principales problemas que enfrentan las industrias mexicanas es la falta de educación en la implantación y control del sistemas de control de calidad.

" Muchas compañías se han transformado a sí mismas después de aplicar el control de calidad; la manera como se transforman puede clasificarse en las seis categorías siguientes:

1. Primero la calidad, no las utilidades.
2. Orientación hacia el consumidor, no hacia el productor.
3. El proceso siguiente es su cliente.
4. Utilizar datos y números en las presentaciones, utilización de métodos estadísticos.
5. Respeto a la humanidad como filosofía administrativa.
6. Administración interfuncional.¹⁴

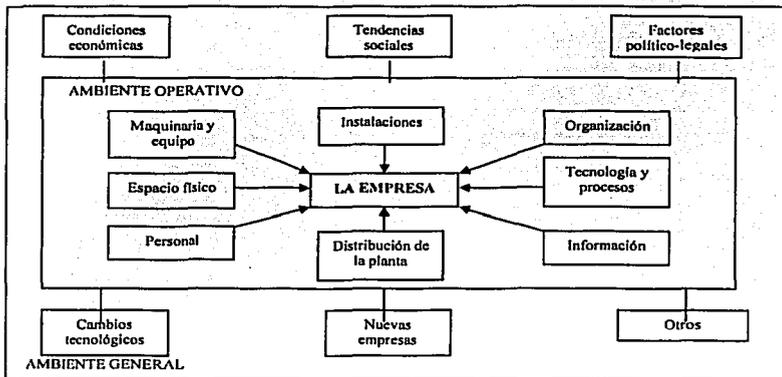
Para que una empresa mexicana logre ser competitiva frente a las empresas nacionales y extranjeras, es necesario crear sistemas de productividad que sean flexibles y eficientes, de tal forma que puedan manufacturar productos de alta calidad al menor costo y tiempo posible.

¹³ Kaoru Ishikawa, ¿Qué es el Control Total de Calidad?, La modalidad Japonesa, Ed. Norma, pp-198

¹⁴ Kaoru Ishikawa, ¿Qué es el Control Total de Calidad?, La modalidad Japonesa, Ed. Norma, pp-98

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

En el cuadro siguiente se muestra la relación de los ambientes internos y externos que influyen en la productividad de la empresa Mexicana:



El ambiente operativo de la empresa es el que puede ser controlado mediante una adecuada aplicación del Justo a Tiempo.

Uno de los principales puntos de la competitividad se encuentra en la planeación y organización de los tiempos de producción, ya que al desarrollar óptimamente la planeación del tiempo de producción, la cantidad de productos serán lo más aproximado a la demanda y se crearán inventarios pequeños.

Actualmente la Teoría Justo a Tiempo es relativamente una nueva herramienta para determinar tiempos de producción de las empresas.

La problemática a tratar es el mejoramiento de la competitividad de una empresa, analizando las causas internas y externas que influyen en la productividad de la empresa y la flexibilidad con que trata los cambios en la demanda y el gusto del cliente.

Esto implica el diseño de un sistema productivo centrado plenamente en la satisfacción del cliente y el uso de una tecnología de producción comprometida con la Administración de la Calidad Total como es el Justo a Tiempo.

El aporte fundamental de esta teoría es la capacidad de la planta de manufacturar los productos con calidad y a la primera, con lo que se ahorra tiempo y costos de remanufactura.

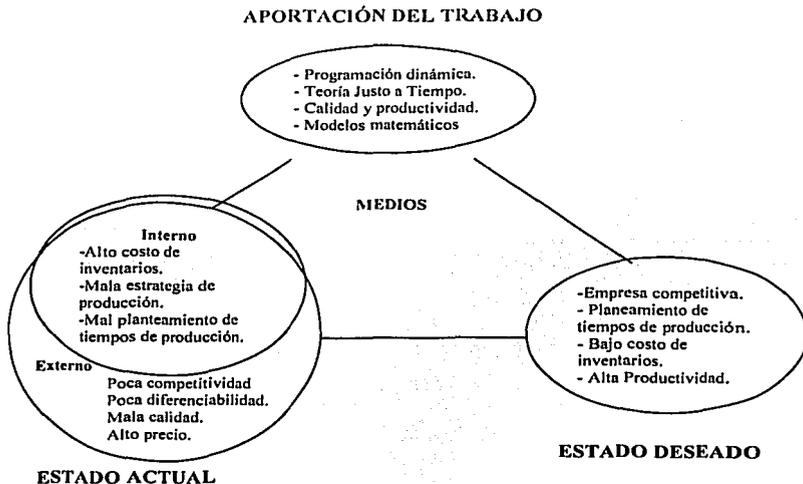
DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Para realizar un sistema de producción que relacione el número de artículos, de cada tipo a producir y el tiempo en que deben producirse se requiere el apoyo de la programación dinámica para realizar el modelo matemático que lo represente.

"La programación dinámica es aplicada a una gran variedad de problemas, incluyendo control de inventarios, niveles de producción, reemplazo de equipo, distribución de la planta y mantenimiento. En algunas de estas aplicaciones, los periodos pueden ser días, semanas y/o meses, provee la secuencia de escenarios para los largos multiperiodos del problema"¹⁵

"Desde el punto de vista de la funcionalidad y diseño de producción, el diseño y los métodos de producción se eligen para cumplir la calidad diseñada de la manera más económica"¹⁶

En el siguiente esquema se muestra la aportación del trabajo, mediante el estado actual de la empresa y el estado deseado, así como los elementos que utiliza para lograrlo:



¹⁵ David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams. "An Introduction to Management Science," Qualitative Approaches to Decision Making, Eighth Edition, Ed. West Publishing Company, pp-745

⁶ Shigeru Mizuno, "Management for Quality Improvement": The seven New Tools, Ed. By Shigeru Mizuno, 1988, pp 150

5.2 CREACIÓN DEL MODELO DE PRODUCCIÓN.

5.2.1 Determinación de los requerimientos de maquinaria.

El modelo se basa en un plan de producción semestral, por tal motivo se debe considerar los pronósticos de venta de los seis meses posteriores a la fecha de aplicación del modelo.

De acuerdo a un determinado pronostico de ventas de una empresa el primer paso para el modelo de producción es determinar los requerimientos, en minutos, de tiempo maquina para cada estación de trabajo¹⁷.

5.2.1.1 Determinación de requerimiento de tiempo maquina mensual.

Para determinar el tiempo maquina mensual de la maquinaria se utiliza la siguiente formula:

$$Req_j = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ij} \times 60}{(1-d)(1-a)}$$

En donde :

Req_j = Requerimiento mensual de tiempo de la máquina j .

Q_{ij} = Cantidad estimada a vender del producto i en el mes j .

d = Porcentaje de artículos defectuosos.

a = Porcentaje de ausentismo de los trabajadores.

La cantidad estimada a vender del producto i en el mes j se multiplica por 60 ya que cada hora tiene 60 minutos.

¹⁷ Una estación de trabajo es aquella en que se realiza un tipo de actividad en la secuencia de la producción.

5.2.1.2 Determinación de requerimiento de maquinaria mensual.

Para determinar el número de máquinas que se necesitan para satisfacer la demanda mensual se utiliza la siguiente fórmula:

$$n_j = \frac{Req_j}{60 \times 8 \times m}$$

En donde :

n_j = Es el número de máquinas que se requieren para cumplir con la demanda en el mes j .

Req_j = Requerimiento mensual de tiempo de la máquina j .

m = Número de días laborables en el mes j .

El número de días laborables en el mes j se multiplica por 60 ya que cada hora tiene 60 minutos, y por 8 ya que la jornada laboral es de 8 horas.

5.2.1.3 Análisis del costo mensual para la optimización del número de máquinas.

De acuerdo a la formula explicada en la sección anterior, se determina el número de máquinas necesarias para satisfacer la demanda mensual, sin embargo la cantidad obtenida no siempre resulta ser un número entero, y como no podemos utilizar pedazos de máquina, es necesario realizar un análisis para determinar si el número de maquinas se redondea hacia abajo o hacia arriba, para lo cual se realiza un análisis de costos de mantenimiento de máquinas en la empresa.

El costo de la utilización de maquinaria se determina por la siguiente formula:

$$f_i = \sum_j^{j+1} (k_{1j} \times T.O. + k_{2j} \times T.E.) + k_3 + I_i + f_{i-1}$$

En donde:

$T.O.$ = La jornada laboral de 8 horas.

$T.E.$ = Número de horas disponibles en tiempo extra.

f_i = Costo en el mes i por utilizar j o $j + 1$ maquinas.

f_{i-1} = Costo en el mes $i - 1$ por utilizar j o $j + 1$ maquinas.

k_{1j} = Costo de utilizar j máquinas dentro de la jornada laboral de 8 horas.

k_{2j} = Costo de utilizar j máquinas en tiempo extra.

I_i = Inventario inicial en el mes i .

k_3 = Costo extra en que se incurre al utilizar una máquina menos de la necesaria para cumplir con la demanda, y es igual a :

$$k_3 = k_{11} \times T.O. + K_{21} \times T.E.$$

Es decir el costo de utilizar una maquina en tiempo normal mas el costo de utilizar una máquina en tiempo extra si fuera necesario.

De acuerdo a los cálculos anteriores se determina el número de máquinas necesarias por estación de trabajo para cumplir con la demanda semestral del plan de producción.

5.2.2 Distribución de la maquinaria.

La maquinaria se distribuye en el área de trabajo de acuerdo al método Guerchelt, ya que nos indica el área (en metros cuadrados) de cada máquina y el área total por estación de trabajo.

Para determinar la distribución de la maquinaria necesitamos conocer:

$N =$ Número de lados de uso de la maquinaria.

$S_s = (a \times b)$ Dimensiones de la maquinaria, largo por ancho.

$S_e = N \times S_s = N(a \times b)$ El producto de lados de uso y dimensión de la maquinaria.

$S_G = (S_s + S_k)k$ En donde $k = 1$ para el sector mecánico ligero.

$S_t = S_s + S_r + S_G$ Es el área total necesaria por máquina.

La superficie total por estación de trabajo se determina al multiplicar el área total necesaria por máquina por el número de máquinas a utilizar, es decir :

$$ST = S_t \times n$$

De acuerdo al área total por estación de trabajo y las dimensiones del taller mecánico se determina la distribución por bloques de la maquinaria.

5.2.3 Nivelación de la cantidad de productos a fabricar.

La nivelación de la producción se determina considerando el pronostico de ventas y el número de días laborables mensualmente, con lo anterior se realiza el promedio diario a producir, es decir :

$$P_d = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{m}$$

En donde:

$P_d =$ Producción total diaria de los artículos que se producen en la empresa.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

$m =$ Número de días laborales del mes.

$A_i =$ Cantidad de artículos del tipo i a producir, estimados en el pronóstico de ventas.

La producción diaria por artículo es igual al número de artículos a producir entre el número de días laborales, es decir :

$$P_a = \frac{A_a}{m}$$

En donde:

$P_a =$ Producción diaria de los artículos del tipo a que se producen en la empresa.

$m =$ Número de días laborales del mes.

$A_a =$ Cantidad de artículos del tipo a a producir.

5.2.4 Estandarización de la producción.

En este paso se calcula el tiempo promedio en horas, del tiempo de utilización de la maquinaria por los distintos productos a producir, es decir :

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$$

En donde:

$T_p =$ Tiempo promedio en horas que se utiliza la maquinaria para elaborar los productos.

$T_i =$ Tiempo que se utiliza la maquinaria para elaborar los productos del tipo i .

$n =$ Número de artículos que se producen.

5.2.5 Determinación del número de operarios.

Para la polyvalencia de los empleados, es decir, que puedan manejar mas de una máquina para efectos de velocidad en la entrega del producto, evitar tiempos muertos y exceso de trabajadores se divide el proceso productivo en grupos de maquinaria que pueda manejar un tipo de empleado. El tiempo estándar por grupo, se obtiene al sumar el tiempo promedio en horas de las máquinas que forman el grupo, es decir :

$$T_k = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n_g}$$

En donde:

T_k = Tiempo estándar por grupo.

T_i = Tiempo que se utiliza la maquinaria para elaborar los productos del grupo i .

n_g = Número de máquinas que forman el grupo.

El número de operarios se calcula :

$$N_o = \frac{T_k \times 60}{60 \times (1 - t_i)}$$

En donde :

N_o = Número de operarios.

T_k = Tiempo estándar por grupo.

t_i = tasa de ineficiencia en la producción.

Como existe un determinado porcentaje de ausentismo se debe adaptar la ecuación anterior, de tal forma que el número de operarios total es:

$$N_t = \frac{N_o}{60 \times (1 - t_a)}$$

En donde :

N_t = Número total de operarios.

t_a = tasa de ausentismo de los trabajadores.

5.2.6 Determinación de la secuencia en la línea de montaje.

Determinar la secuencia de la línea de montaje significa determinar que artículo entra en primer lugar a la primera estación de trabajo y cuales le siguen, de acuerdo con la determinación de la cantidad de artículos a producir diariamente.

La secuencia se calcula determinando los componentes o actividades que necesita cada artículo; si requiere de un componente o actividad se le marca con un 1 en caso contrario con 0, la mejor asignación está definida por :

$$D_u = \text{Min}\{Dk_i\}$$

En donde:

D_u = Mínimo costo de producción en la primera estación de trabajo al producir el producto i .

Dk_i = Costo de producción en la primera estación de trabajo de cada artículo a producir y es igual a :

$$Dk_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} \left(\frac{k \times N_i}{Q} - x_{ik-1} - b_j \right)^2}$$

En donde:

N_i = Número de componentes o actividades que se requieren para producir un artículo del tipo i .

$k = 1, 2, \dots, n$ Secuencia en la línea de producción, es decir si $k = 1$ nos referimos al cálculo del primer artículo en entrar a la línea de producción.

Q = Número total de artículos a producir diariamente.

x_{ik-1} = Número de veces que ese producto a pasado por la primera estación de producción.

b_j = 1 si le corresponde la actividad j , 0 en caso de que no le corresponda.

5.3 ALCANCES Y VENTAJAS DEL MODELO.

Este modelo nos permite responder una de las más frecuentes preguntas de los empresarios de las micro empresas ¿Cuántas máquinas? Y ¿Cuántos empleados?, resolviendo estas preguntas el empresario puede minimizar los gastos de operación y maquinaria en su empresa.

Calcular la cantidad óptima de maquinaria que se requiere, evita excesivos gastos de inversión y de mantenimiento en los equipos, evita el sub-uso de la maquinaria, y los tiempos muertos.

Dividir el proceso productivo en grupos de trabajo ayuda a la polivalencia de los operarios ya que en algunos puntos del proceso productivo, algunas estaciones no se están utilizando y al manejar equipos distintos se necesita un menor número de operarios.

Calcular la cantidad óptima de operarios que se requiere, evita excesivos gastos de producción y operación, así como el conocimiento de los operarios en otras estaciones de trabajo hace que pueda detectar más fácilmente si los productos no cumplen con los estándares de calidad establecidos para la estación de trabajo.

Como se determinan las áreas parciales y totales de la maquinaria se puede organizar una mejor distribución y control de las estaciones de trabajo en el área disponible para la producción, también ayuda a la polivalencia de los operarios ya que distribuye las estaciones de trabajo de acuerdo con el conocimiento de los operarios del manejo de las estaciones.

Se supone que en cada estación de la producción el inventario inicial es cero, lo que disminuye el espacio para almacén y los excesivos costos de inventario.

Al determinar la secuencia de la producción de los artículos en la primera estación de trabajo se está cumpliendo con la demanda con la menor inversión de tiempo, dinero y esfuerzo. Se pretende que al final del día se tengan el número de productos terminados para satisfacer la demanda diaria y que los productos semielaborados sean mínimos en el almacén.

Se propone una tarjeta de control de inventarios para saber la estación de producción en que se encuentran los artículos que están en el almacén, así como para controlar la calidad de los mismos.

El modelo puede aplicarse a micro-empresas y se espera que los resultados en calidad y productividad de la empresa se vean beneficiados por él, con lo que las empresas puedan mejorar su competitividad frente a otras grandes empresas.

5.4 RESTRICCIONES DEL MODELO.

El modelo solo puede ser aplicado a micro-empresas, ya que una empresa grande no puede ser tan flexible en cuanto a maquinaria y operarios, lo que impide la implantación del modelo.

Este modelo no calcula los pronósticos de venta de los productos, los cuales deben calcularse mediante un modelo probabilístico que estime la cantidad esperada de ventas mensuales.

El modelo no puede aplicarse sin antes dar una capacitación a los operarios para que sean capaces de operar otro tipo de maquinaria, aunque sean similares.

La forma de cómo capacitar y estimular la aceptación de los empleados y directivos de la nueva forma de trabajo, no se propone en el modelo, se debe de desarrollar un plan de implantación del nuevo sistema.

CAPITULO VI ESTUDIO DE CASO.

6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA Y DE LA PLANTA.

La empresa en que se realizó el estudio de caso, es la micro-empresa metal mecánica "PERMMEX" S.A de C.V., ubicada en la calle de Dos Arbolitos No.63, Colonia Benito Juárez, Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México; que produce dos tipos de artículos: escritorios auxiliares y mesas para computadora.

Para realizar la producción de dichos artículos cuenta con cinco estaciones de trabajo: corte, doblado, soldadura por puntos, soldadura eléctrica y pintura; así como una línea de montaje en donde se ensamblan, pulen y pintan los muebles, se les colocan las cubiertas (de linóleo para los escritorios auxiliares y de formica para las mesas para computadora) y se coloca chapa y jalador a los escritorios auxiliares.

Las estaciones de corte y doblado están conformadas por maquinas cortadoras y dobladoras hidráulicas, operadas por personal calificado, polivalente, capaz de operar ambas máquinas. En estas etapas la lamina galvanizada es cortada y doblada, siguiendo patrones establecidos por la dirección de calidad y diseño para cada producto.

Las estaciones de soldadura por puntos y soldadura eléctrica están conformadas por máquinas soldadoras, y operadas por personal calificado, polivalente, capaz de operar ambas máquinas. En estas etapas se toma la lámina cortada y doblada, y se le da forma de acuerdo a cada tipo de mueble, siguiendo los patrones establecidos por la dirección de calidad y diseño para cada producto.

En el proceso de la línea de montaje se limpian los muebles con thinner (para prepararlos para pintura), se realiza la limpieza de excesos de soldadura de los muebles, por medio de lijado (conocido como lijado de masilla), posteriormente se pintan los muebles, se les colocan las cubiertas y por último, chapas y jaladores.

6.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MAQUINARIA.

A continuación se determinará la cantidad mínima necesaria de máquinas para cada estación de trabajo: corte, doblado, soldadura por puntos, soldadura eléctrica y pintura.

6.2.1 Determinación del número óptimo de máquinas, para la estación de corte.

ESTACIÓN DE CORTE

Está conformada por máquinas cortadoras hidráulicas, operadas por personal calificado. En esta etapa la lamina galvanizada es cortada siguiendo patrones establecidos para cada producto. A continuación se especifica el tiempo total requerido por el operario para el corte de una pieza.

Estación	Tiempo Prod. A	Tiempo Prod. B
Corte	60 min.	60 min.
Doblado	60	180
Soldadura por punto	40	120
Soldadura eléctrica	120	60
Pintura	60	60

Producto A = Mesa de Cómputo

Producto B = Escritorios Auxiliares

Pronóstico de ventas (unidades por mes) en base al histórico

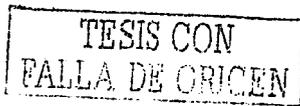
MES	Datos Históricos de ventas		Pronósticos de ventas		Días Lab.
	Prod. A	Prod. B	Prod. A	Prod. B	
Enero	100	78	120	80	20
Febrero	120	90	120	85	23
Marzo	140	91	120	90	22
Abril	110	97	120	95	20
Mayo	130	102	120	100	23
Junio	120	108	120	105	20
	Suma		720	558	128

Determinación de los requerimientos mínimos de maquinaria, para la estación de corte en base al cuadro anterior

$$i = \text{mes calculado} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 6$$

En donde:

- 1 = Enero
- 2 = Febrero
- 3 = Marzo
- 4 = Abril
- 5 = Mayo
- 6 = Junio



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Requerimientos en minutos de tiempo/máquina cortadora, para satisfacer la demanda del mes 1

$$Req1 = \frac{((\text{Cantidad de producto A en el mes 1}) \cdot (60)) + ((\text{Cantidad de producto B en el mes 1}) \cdot (60))}{(1 - \% \text{ defectuosos}) / (1 - \% \text{ ausentismo})}$$

Defectuosos 12% = 0,12
 Eficiencia 90% = 0,10
 Ausentismo 10% = 0,10

NOTA: porcentajes aceptados por las principales instancias certificadoras de calidad.

Requerimiento mensual:

para el mes de Junio	17045,5
para el mes de Mayo	16666,7
para el mes de Abril	16287,9
para el mes de Marzo	15909,1
para el mes de Febrero	15530,3
para el mes de Enero	15151,5

De acuerdo con los siguientes parámetros se determinará el número de máquinas cortadoras necesarias para cumplir con la demanda mensual de producción. De acuerdo a la teoría *Justo a Tiempo* se minimizan costos manejando inventarios mínimos, por lo que consideramos un inventario mensual (inicial y final) ideal igual a cero.

OFERTA DE TIEMPO

TIEMPO EXTRA

COSTO DE OFERTA DE TIEMPO

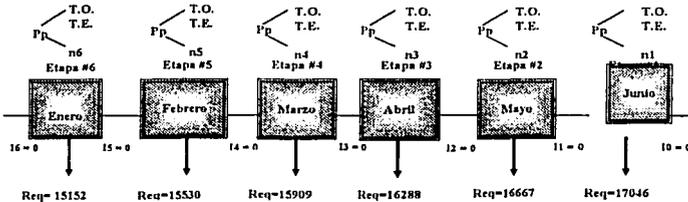
COSTO DE TIEMPO EXTRA

T.O. = 60 * 8 * número de días laborables en el mes 1

T.E. = 60 * 2 * número de días laborables en el mes 1

K1 = \$5,00 pesos por hora = \$0,08 pesos por minuto

K2 = 20% T.O. = \$0,10 pesos por minuto



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Ecuación a utilizar para definir el requerimiento mínimo de máquinas cortadoras en el mes *i*.

$$n_i = \frac{\text{Requerimiento de tiempo máquina cortadora en el mes } i}{60 * 8 * \text{Días laborales del mes } i}$$

Junio	n6 =	$\frac{17045}{9600}$	1,8	(1 ó 2 máquinas)
Mayo	n5 =	$\frac{16667}{11040}$	1,5	(1 ó 2 máquinas)
Abril	n4 =	$\frac{16288}{9600}$	1,7	(1 ó 2 máquinas)
Marzo	n3 =	$\frac{15909}{10560}$	1,5	(1 ó 2 máquinas)
Febrero	n2 =	$\frac{15530}{11040}$	1,4	(1 ó 2 máquinas)
Enero	n1 =	$\frac{15152}{9600}$	1,6	(1 ó 2 máquinas)

Análisis de costo mensual, utilizando 1 ó 2 máquinas:

$$f_i = \text{Costo en el mes } i = K1 * T.O. + K2 * T.E. + K3 * II + \text{costo del mes } i-1$$

Junio		Requerimiento mensual =		17045 minutos tiempo/máquina cortadora	
	D1	D2	T.O.	T.E.	f
	9600	2400	19200	4800	
KD1	-	12000			
KD2	-	1840	1600		1600

El costo mínimo en el mes de Junio se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Mayo		Requerimiento mensual =		16667 minutos tiempo/máquina cortadora	
	D1	D2	T.O.	T.E.	f
	11040		22080	5520	
KD1	-	13800			
KD2	-	3716	3440		3440

El costo mínimo en el mes de Mayo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Abril **Requerimiento mensual =** **16288 minutos tiempo/máquina cortadora**

	D1	D2	D3	D4
KD1	5600	2400	19200	4800
KD2	-	12000		24000
		5280	5040	5040

El costo mínimo en el mes de Abril se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Marzo **Requerimiento mensual =** **15909 minutos tiempo/máquina cortadora**

	D1	D2	D3	D4
KD1	10560	2640	21120	5280
KD2	-	13200		
		7064	6800	6800

El costo mínimo en el mes de Marzo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Febrero **Requerimiento mensual =** **15530 minutos tiempo/máquina cortadora**

	D1	D2	D3	D4
KD1	11040	2760	22080	5520
KD2	-	13800		
		8916	8640	8640

El costo mínimo en el mes de Febrero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Enero **Requerimiento mensual =** **15152 minutos tiempo/máquina cortadora**

	D1	D2	D3	D4
KD1	5600	2400	19200	4800
KD2	-	12000		
		10480	10240	10240

El costo mínimo en el mes de Enero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Como se puede ver en el análisis de costos correspondiente a los primeros seis meses del año, la cantidad óptima de máquinas en la estación de corte, para atender la demanda semestral con holgura y sin tener que recurrir a tiempos extras, es de 2.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Resumen de requerimientos y costos (mensuales y semestrales) de la estación de corte, dados en minutos/mes y pesos/mes:

MES	Req.	Prod. en T.O.	Prod. en T.E.	Costo mensual T.O.	Costo mensual T.E.	Costo mensual total
Enero	15152	19200	0	\$1.600	\$0	\$1.600
Febrero	15530	22080	0	\$1.840	\$0	\$1.840
Marzo	15909	21120	0	\$1.760	\$0	\$1.760
Abril	16288	19200	0	\$1.600	\$0	\$1.600
Mayo	16667	22080	0	\$1.840	\$0	\$1.840
Junio	17045	19200	0	\$1.600	\$0	\$1.600
Costo total semestral						\$10.240

Número óptimo de máquinas cortadoras = 2

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

6.2.2 Determinación del número óptimo de maquinas, para la estación de doblado.

ESTACIÓN DE DOBLADO

Está conformada por maquinas dobladoras hidraulicas, operadas por personal calificado. En esta etapa la lamina galvanizada cortada, es doblada siguiendo patrones establecidos para cada producto. A continuación se especifica el tiempo total requerido por el operario para el doblado de una pieza.

Estación	Tiempo Prod. A	Tiempo Prod. B
Corte de lámina	60	60
Doblado	60	180
Soldadura por punto	40	120
Soldadura eléctrica	60	60
Pinura	60	60

Producto A = Mesa de Cómputo

Producto B = Escritorios Auxiliares

Pronóstico de ventas (unidades por mes) en base al histórico

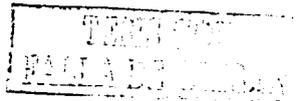
MES	Datos Históricos		Pronóstico	
	Prod. A	Prod. B	Prod. A	Prod. B
Enero	100	78	120	80
Febrero	120	90	120	85
Marzo	140	91	120	90
Abril	110	97	120	95
Mayo	130	102	120	100
Junio	120	108	120	105
Suma	720	506	720	555

Determinación de los requerimientos mínimos de maquinaria, para la estación de doblado en base al cuadro anterior:

$$i = \text{mes calculado} \quad i = 1,2,3,\dots,6$$

En donde:

- 1 = Enero
- 2 = Febrero
- 3 = Marzo
- 4 = Abril
- 5 = Mayo
- 6 = Junio



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Requerimientos en minutos de tiempo/máquina dobladora, para satisfacer la demanda del mes i

$$\text{Req}_i = \frac{((\text{Cantidad de producto A en el mes i}) \cdot (80) + (\text{Cantidad de producto B en el mes i}) \cdot (180))}{(1 - \% \text{ defectuosos})(1 - \% \text{ ausentismo})}$$

Defectuosos 12% = 0,12
 Eficiencia 90% = 0,10
 Ausentismo 10% = 0,10

NOTA: porcentajes aceptados por las principales instancias certificadoras de calidad.

Requerimiento mensual:

para el mes de Junio	32954,5
para el mes de Mayo	31818,2
para el mes de Abril	30681,8
para el mes de Marzo	29545,5
para el mes de Febrero	28409,1
para el mes de Enero	27272,7

De acuerdo con los siguientes parámetros se determinará el número de máquinas dobladoras necesarias para cumplir con la demanda mensual de producción. De acuerdo a la teoría *Justo a Tiempo* se minimizan costos manejando inventarios mínimos, por lo que consideramos un inventario (inicial y final) mensual ideal igual a cero.

OFERTA DE TIEMPO

TIEMPO EXTRA

COSTO DE OFERTA DE TIEMPO

COSTO DE TIEMPO EXTRA

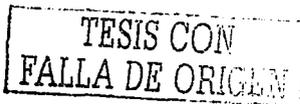
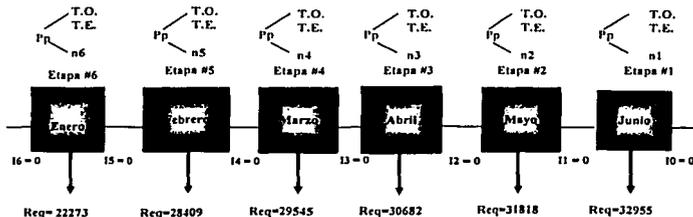
T.O. = 60 * 8 * número de días laborables en el mes i

T.E. = 60 * 2 * número de días laborables en el mes i

K1 = \$5,00 pesos por hora = \$0,08 pesos por minuto

K2 = 20% T.O. = \$0,10 pesos por minuto

pesos por minuto
pesos por minuto



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ecuación a utilizar para definir el requerimiento mínimo de máquinas dobladoras en el mes *i*.

$$n_i = \frac{\text{Requerimiento de tiempo máquina dobladora en el mes } i}{60 * 8 * \text{Días laborales del mes } i}$$

Junio	n6 =	$\frac{32955}{9600}$	3.4	(3 ó 4 máquinas)
Mayo	n5 =	$\frac{31818}{11040}$	2.9	(2 ó 3 máquinas)
Abril	n4 =	$\frac{30682}{9600}$	3.2	(3 ó 4 máquinas)
Marzo	n3 =	$\frac{29545}{10560}$	2.8	(2 ó 3 máquinas)
Febrero	n2 =	$\frac{28409}{11040}$	2.6	(2 ó 3 máquinas)
Enero	n1 =	$\frac{27273}{9600}$	2.8	(2 ó 3 máquinas)

Análisis de costo mensual, utilizando 2, 3 ó 4 máquinas:

$$f_i = \text{Costo en el mes } i = K1 * T.O. + K2 * T.E. + K3 * f_i + \text{costo del mes } i - 1$$

Junio	Requerimiento mensual = 32955 minutos tiempo/máquina dobladora								
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	f _i
	9600	2400	19200	4800	28800	7200	38400	9600	
KD1	-	12000	-	24000	-	36000	-	-	
KD2	-	-	-	-	-	-	-	-	
KD3	-	-	-	-	-	3120	-	-	
KD4	-	-	-	-	-	-	3200	-	3120

El costo mínimo en el mes de Junio se obtiene al utilizar tres máquinas con tiempo extra

Mayo	Requerimiento mensual = 31818 minutos tiempo/máquina dobladora								
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	f _i
	11040	2760	22080	5520	33120	8280	44160	11040	
KD1	-	13800	-	27600	-	41400	-	-	
KD2	-	-	-	6432	-	-	-	-	
KD3	-	-	-	-	5880	-	-	-	
KD4	-	-	-	-	-	-	6800	-	5880

El costo mínimo en el mes de Mayo se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Abril **Requerimiento mensual =** **30682 minutos tiempo/máquina dobladora**

	D1	D2	D3	D4	f1
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	
	9600	2400	19200	4800	28800
	-	12000	-	24000	-
KD1	-	-	-	-	36000
KD2	-	-	-	-	-
KD3	-	-	-	-	9000
KD4	-	-	-	-	9080
					9000

El costo mínimo en el mes de Abril se obtiene al utilizar tres máquinas con tiempo extra

Marzo **Requerimiento mensual =** **29545 minutos tiempo/máquina dobladora**

	D1	D2	D3	D4	f1
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	
	10560	2640	21120	5280	31680
	-	13200	-	26400	-
KD1	-	-	-	-	39600
KD2	-	-	-	12168	-
KD3	-	-	-	-	11640
KD4	-	-	-	-	11640

El costo mínimo en el mes de Marzo se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra

Febrer **Requerimiento mensual =** **28409 minutos tiempo/máquina dobladora**

	D1	D2	D3	D4	f1
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	
	11040	2760	22080	5520	33120
	-	13800	-	27600	-
KD1	-	-	-	-	41400
KD2	-	-	-	14952	-
KD3	-	-	-	-	14400
KD4	-	-	-	-	14400

El costo mínimo en el mes de Febrero se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra

Enero **Requerimiento mensual =** **27273 minutos tiempo/máquina dobladora**

	D1	D2	D3	D4	f1
	T.O.	T.E.	T.O.	T.E.	
	9600	2400	19200	4800	28800
	-	12000	-	24000	-
KD1	-	-	-	-	36000
KD2	-	-	-	17280	-
KD3	-	-	-	-	16800
KD4	-	-	-	-	16800

El costo mínimo en el mes de Enero se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Como se puede ver en el análisis de costos correspondiente a los primeros seis meses del año, la cantidad óptima de máquinas en la estación de doblado, para atender la demanda semestral con holgura es de 3.

Resumen de requerimientos y costos (mensuales y semestrales) de la estación de doblado, dados en minutos/mes y pesos/mes:

MES	REQUERIMIENTO (minutos)	CANTIDAD DE MÁQUINAS	COSTO (pesos)	CANTIDAD DE MÁQUINAS	COSTO (pesos)	CANTIDAD DE MÁQUINAS	COSTO (pesos)	
Enero	27273	28800	0	\$2.400	\$0	\$2.400		
Febrero	28409	33120	0	\$2.760	\$0	\$2.760		
Marzo	29545	31680	0	\$2.640	\$0	\$2.640		
Abril	30682	28800	7200	\$2.400	\$720	\$3.120		
Mayo	31818	33120	0	\$2.760	\$0	\$2.760		
Junio	32955	28800	7200	\$2.400	\$720	\$3.120		
Costo total semestral							\$16.800	

Número óptimo de máquinas dobladoras = 3

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

6.2.3 Determinación del número óptimo de máquinas, para la estación de soldadura por puntos.

ESTACIÓN DE SOLDADURA POR PUNTOS

Está conformada por máquinas soldadoras por puntos, operadas por personal calificado. En esta etapa la lamina galvanizada cortada y doblada, es soldada siguiendo patrones establecidos para cada producto. A continuación se especifica el tiempo total requerido por el operario para realizar la soldadura por puntos de una pieza.

Estación	Tiempo Prod. A	Tiempo Prod. B
Soldadura por puntos	40	120

Producto A = Mesa de Cómputo

Producto B = Escritorios Auxiliares

Pronóstico de ventas (unidades por mes) en base al histórico

	Prod. A	Prod. B	
Enero	100	78	120
Febrero	120	90	85
Marzo	140	91	90
Abril	110	97	95
Mayo	130	102	100
Junio	120	108	105
Suma	720	766	655

Determinación de los requerimientos mínimos de maquinaria, para la estación de soldadura por puntos en base al cuadro anterior:

i = mes calculado $i = 1, 2, 3, \dots, 6$

En donde:

- 1 = Enero
- 2 = Febrero
- 3 = Marzo
- 4 = Abril
- 5 = Mayo
- 6 = Junio

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Requerimientos en minutos de tiempo/máquina soldadora por puntos, para satisfacer la demanda del mes i

$$Req_i = \frac{((Cantidad\ de\ producto\ A\ en\ el\ mes\ i) * 40) + (Cantidad\ de\ producto\ B\ en\ el\ mes\ i) * 120}{(1 - \% \text{ defectuosos})(1 - \% \text{ ausentismo})}$$

Defectuosos 12% = 0,12
 Eficiencia 90% = 0,10
 Ausentismo 10% = 0,10

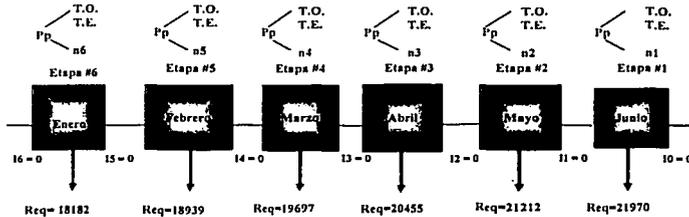
NOTA: porcentajes aceptados por las principales instancias certificadoras de calidad.

Requerimiento mensual:

para el mes de Junio	21969,7
para el mes de Mayo	21212,1
para el mes de Abril	20454,5
para el mes de Marzo	19697,0
para el mes de Febrero	18939,4
para el mes de Enero	18181,8

De acuerdo con los siguientes parámetros se determinará el número de máquinas soldadoras por puntos necesarias para cumplir con la demanda mensual de producción. De acuerdo a la teoría *Justo a Tiempo* se minimizan costos manejando inventarios mínimos, por lo que consideramos un inventario (inicial y final) mensual ideal igual a cero.

OFERTA DE TIEMPO	T.O. =	60 * 8 * número de días laborables en el mes i	
TIEMPO EXTRA	T.E. =	60 * 2 * número de días laborables en el mes i	
COSTO DE OFERTA DE TIEMPO	K1 =	\$5,00 pesos por hora	= \$0,08 pesos por minuto
COSTO DE TIEMPO EXTRA	K2 =	20% T.O.	= \$0,10 pesos por minuto



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ecuación a utilizar para definir el requerimiento mínimo de maquinas soldadoras por puntos en el mes i.

$$n_i = \frac{\text{Requerimiento de tiempo maquina soldadora por puntos en el mes } i}{60 * 8 * \text{Dias laborales del mes } i}$$

Junio	n5 =	$\frac{21970}{9600}$	2,3	(2 ó 3 máquinas)
Mayo	n5 =	$\frac{21212}{11040}$	1,9	(1 ó 2 máquinas)
Abril	n4 =	$\frac{20455}{9600}$	2,1	(2 ó 3 máquinas)
Marzo	n3 =	$\frac{19897}{10580}$	1,9	(1 ó 2 máquinas)
Febrero	n2 =	$\frac{18939}{11040}$	1,7	(1 ó 2 máquinas)
Enero	n1 =	$\frac{18182}{9600}$	1,9	(2 ó 3 máquinas)

Análisis de costo mensual, utilizando 1, 2 ó 3 máquinas:

$$f_i = \text{Costo en el mes } i = K1 * T.O. + K2 * T.E. + K3 * II + \text{costo del mes } i-1$$

Junio Requerimiento mensual = 21970 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos

	9600	2400	19200	4800	28800	7200
KD1	-	12000	-	24000		
KD2				2080		
KD3					2400	2080

El costo mínimo en el mes de Junio se obtiene al utilizar dos máquinas con tiempo extra.

Mayo Requerimiento mensual = 21212 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos

	11040	2760	22080	5520	33120	8280
KD1	-	13800				
KD2		4196				
KD3			3920			3920

El costo mínimo en el mes de Mayo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Abril **Requerimiento mensual =** **20455 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos**

	9600	2400	19200	4800	28800	7200	
KD1	-	12000	-	24000	-	36000	
KD2	-	-	-	6000	-	-	
KD3	-	-	-	-	6320	6000	

El costo mínimo en el mes de Abril se obtiene al utilizar dos máquinas con tiempo extra.

Marzo **Requerimiento mensual =** **19697 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos**

	10560	2640	21120	5280	31680	7920	
KD1	-	13200					
KD2	-	8024					
KD3	-	-	7760				7760

El costo mínimo en el mes de Marzo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Febrero **Requerimiento mensual =** **18939 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos**

	11040	2760	22080	5520	33120	8280	
KD1	-	13800					
KD2	-	9876					
KD3	-	-	9600				9600

El costo mínimo en el mes de Febrero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Enero **Requerimiento mensual =** **18182 minutos tiempo/máquina soldadora por puntos**

	9600	2400	19200	4800	28800	7200	
KD1	-	12000					
KD2	-	11440					
KD3	-	-	11200				11200

El costo mínimo en el mes de Enero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Como se puede ver en el análisis de costos correspondiente a los primeros seis meses del año, la cantidad óptima de máquinas en la estación de soldadura por puntos, para atender la demanda semestral (con utilización de tiempo extra en los meses de Abril y Junio) es de 2.

Resumen de requerimientos y costos (mensuales y semestrales) de la estación de soldadura por puntos, dados en minutos/mes y pesos/mes:

Mes	Requerimiento (minutos)	Requerimiento (minutos)	Costo (pesos)	Costo (pesos)	Costo (pesos)	
			Normal	Extra	Total	
Enero	18182	19200	0	\$1.600	\$0	\$1.600
Febrero	18939	22080	0	\$1.840	\$0	\$1.840
Marzo	19697	21120	0	\$1.760	\$0	\$1.760
Abril	20455	19200	4800	\$1.600	\$480	\$2.080
Mayo	21212	22080	0	\$1.840	\$0	\$1.840
Junio	21970	19200	4800	\$1.600	\$480	\$2.080
Costo total semestral						\$11.200

Número óptimo de máquinas soldadoras por puntos = 2

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

6.2.4 Determinación del número óptimo de maquinas, para la estación de soldadura eléctrica.

ESTACIÓN DE SOLDADURA ELÉCTRICA

Está conformada por maquinas soldadoras eléctricas, operadas por personal calificado. En esta etapa la lamina galvanizada cortada y doblada, es soldada siguiendo patrones establecidos para cada producto. A continuación se especifica el tiempo total requerido por el operario para realizar la soldadura eléctrica de una pieza.

Estación	Tiempo Prod. A	Tiempo Prod. B
Corte	120	60
Doblado	60	60
Soldadura Resistiva	120	60
Soldadura eléctrica	120	60
Pintura	60	60

Producto A = Mesa de Cómputo

Producto B = Escritorios Auxiliares

Pronóstico de ventas (unidades por mes) en base al histórico

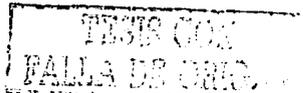
MES	Datos históricos de ventas		Pronóstico de ventas		Días Lab.
	Prod. A	Prod. B	Prod. A	Prod. B	
Enero	100	78	120	80	20
Febrero	120	90	120	85	23
Marzo	140	91	120	90	22
Abril	110	97	120	95	20
Mayo	130	102	120	100	23
Junio	120	108	120	105	20
Suma		720	655	128	

Determinación de los requerimientos mínimos de maquinaria, para la estación de soldadura eléctrica en base al cuadro anterior:

$$i = \text{mes calculado} \quad i = 1,2,3,\dots,6$$

En donde:

- 1 = Enero
- 2 = Febrero
- 3 = Marzo
- 4 = Abril
- 5 = Mayo
- 6 = Junio



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Requerimientos en minutos de tiempo/máquina soldadora eléctrica, para satisfacer la demanda del mes i

$$Req_i = \frac{((\text{Cantidad de producto A en el mes } i) * (120) + (\text{Cantidad de producto B en el mes } i) * (60))}{(1 - \% \text{ defectuosos})(1 - \% \text{ ausentismo})}$$

Defectuosos 12% = 0,12
 Eficiencia 90% = 0,10
 Ausentismo 10% = 0,10

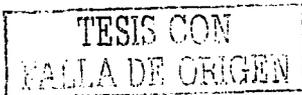
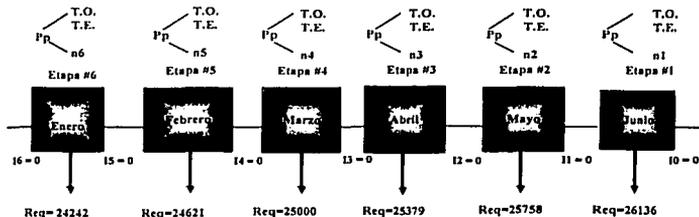
NOTA: porcentajes aceptados por las principales instancias certificadoras de calidad.

Requerimiento mensual:

para el mes de Junio	26136,4
para el mes de Mayo	25757,6
para el mes de Abril	25379,8
para el mes de Marzo	25000,0
para el mes de Febrero	24621,2
para el mes de Enero	24242,4

De acuerdo con los siguientes parámetros se determinará el número de máquinas soldadoras eléctricas necesarias para cumplir con la demanda mensual de producción. De acuerdo a la teoría *Justo a Tiempo* se minimizan costos manejando inventarios mínimos, por lo que consideramos un inventario (Inicial y final) mensual Ideal igual a cero.

OFERTA DE TIEMPO	T.O. =	60 * 8 * número de días laborables en el mes i	
TIEMPO EXTRA	T.E. =	60 * 2 * número de días laborables en el mes i	
COSTO DE OFERTA DE TIEMPO	K1 =	\$5,00 pesos por hora	= \$0,08 pesos por minuto
COSTO DE TIEMPO EXTRA	K2 =	20% T.O.	= \$0,10 pesos por minuto



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ecucación e utilizar para definir el requerimiento mínimo de maquinas soldadoras eléctricas en el mes i.

$$n_i = \frac{\text{Requerimiento de tiempo maquina soldadora eléctrica en el mes } i}{80 \cdot 8 \cdot \text{Días laborales del mes } i}$$

Junio	$n_6 = \frac{26136}{9600}$	2,7	(2 ó 3 máquinas)
Mayo	$n_5 = \frac{25758}{11040}$	2,3	(2 ó 3 máquinas)
Abril	$n_4 = \frac{25379}{9600}$	2,6	(2 ó 3 máquinas)
Marzo	$n_3 = \frac{25000}{10560}$	2,4	(2 ó 3 máquinas)
Febrero	$n_2 = \frac{24621}{11040}$	2,2	(2 ó 3 máquinas)
Enero	$n_1 = \frac{24242}{9600}$	2,5	(2 ó 3 máquinas)

Analisis de costo mensual, utilizando 2 ó 3 máquinas:

$$f_i = \text{Costo en el mes } i = K1 \cdot T.O. + K2 \cdot T.E. + K3 \cdot II + \text{costo del mes } i-1$$

Junio	Requerimiento mensual =	26136 minutos tiempo/maquina soldadora eléctrica						
		9600	2400	19200	4800	28800	7200	
KD1		-	12000	-	24000			
KD2					2880			
KD3						2400		2400

El costo mínimo en el mes de Junio se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra.

Mayo	Requerimiento mensual =	25758 minutos tiempo/maquina soldadora eléctrica						
		11040	2760	22080	5520	33120	8280	
KD1		-	13800	-	27600			
KD2					4792			
KD3						5160		4792

El costo mínimo en el mes de Mayo se obtiene al utilizar dos máquinas con tiempo extra.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Abril Requerimiento mensual = 25379 minutos tiempo/máquina soldadora eléctrica

	9600	2400	19200	4800	28800	7200	
KD1	-	12000	-	-	-	36000	
KD2	-	-	-	7672	-	-	
KD3	-	-	-	-	7192	-	7192

El costo mínimo en el mes de Abril se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra.

Marzo Requerimiento mensual = 25000 minutos tiempo/máquina soldadora eléctrica

	10560	2640	21120	5280	31680	7920	
KD1	-	13200	-	26400	-	-	
KD2	-	-	-	9480	-	-	
KD3	-	-	-	-	9832	-	9480

El costo mínimo en el mes de Marzo se obtiene al utilizar dos máquinas con tiempo extra.

Febrero Requerimiento mensual = 24621 minutos tiempo/máquina soldadora eléctrica

	11040	2760	22080	5520	33120	8280	
KD1	-	13800	-	27600	-	-	
KD2	-	-	-	11872	-	-	
KD3	-	-	-	-	12240	-	11872

El costo mínimo en el mes de Febrero se obtiene al utilizar dos máquinas con tiempo extra.

Enero Requerimiento mensual = 24242 minutos tiempo/máquina soldadora eléctrica

	9600	2400	19200	4800	28800	7200	
KD1	-	12000	-	24000	-	-	
KD2	-	-	-	14752	-	-	
KD3	-	-	-	-	14272	-	14272

El costo mínimo en el mes de Enero se obtiene al utilizar tres máquinas sin tiempo extra.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Como se puede ver en el análisis de costos correspondiente a los primeros seis meses del año, la cantidad óptima de maquinas en la estación de soldadura eléctrica, para atender la demanda semestral con holgura es de 3.

Resumen de requerimientos y costos (mensuales y semestrales) de la estación de soldadura eléctrica, dados en minutos/mes y pesos/mes:

MES	REQUERIMIENTOS	REQUERIMIENTOS	REQUERIMIENTOS	COSTO	COSTO	COSTO
	(minutos)	(minutos)	(minutos)	(pesos)	(pesos)	(pesos)
Enero	24242	28800	0	\$2.400	\$0	\$2.400
Febrero	24621	33120	0	\$2.760	\$0	\$2.760
Marzo	25000	31800	0	\$2.640	\$0	\$2.640
Abril	25379	28800	0	\$2.400	\$0	\$2.400
Mayo	25758	33120	0	\$2.760	\$0	\$2.760
Junio	26136	28800	0	\$2.400	\$0	\$2.400
Costo total semestral						\$15.360

Número óptimo de máquinas soldadoras eléctricas = 3

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

6.2.5 Determinación del número óptimo de máquinas, para la estación de pintura.

ESTACIÓN DE PINTURA

Está conformada por máquinas compresoras, operadas por personal calificado. En esta etapa el mueble semi terminado es pintado siguiendo patrones establecidos para cada producto. A continuación se especifica el tiempo total requerido por el operario para el pintado de una pieza.

Estación	Tiempo Prod. A	Tiempo Prod. B
Weldadura	120	80
Replicado	120	80
Soldadura	120	80
Replicado	120	80
Soldadura	120	80
Replicado	120	80
Soldadura eléctrica	120	80
Pintura	60	60

Producto A = Mesa de Cómputo

Producto B = Escritorios Auxiliares

Pronóstico de ventas (unidades por mes) en base al histórico

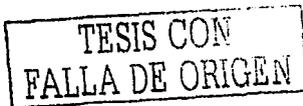
MES	Datos Históricos de Ventas		Pronósticos	
	Prod. A	Prod. B	Prod. A	Prod. B
Enero	100	78	120	80
Febrero	120	90	120	85
Marzo	140	91	120	90
Abril	110	97	120	95
Mayo	130	102	120	100
Junio	120	108	120	105
Suma		720	540	285

Determinación de los requerimientos mínimos de maquinaria, para la estación de pintura en base al cuadro anterior:

$$i = \text{mes calculado} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 6$$

En donde:

- 1 = Enero
- 2 = Febrero
- 3 = Marzo
- 4 = Abril
- 5 = Mayo
- 6 = Junio



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Requerimientos en minutos de tiempo/máquina compresora, para satisfacer la demanda del mes i

$$Req_i = \frac{((Cantidad\ de\ producto\ A\ en\ el\ mes\ i) * (80) + (Cantidad\ de\ producto\ B\ en\ el\ mes\ i) * (60))}{(1 - \% defectuosos)(1 - \% ausentismo)}$$

Defectuosos 12% = 0,12

Eficiencia 90% = 0,10

Ausentismo 10% = 0,10

NOTA: porcentajes aceptados por las principales instancias certificadoras de calidad.

Requerimiento mensual:

para el mes de Junio	17045,5
para el mes de Mayo	16888,7
para el mes de Abril	16287,9
para el mes de Marzo	15909,1
para el mes de Febrero	15530,3
para el mes de Enero	15151,5

De acuerdo con los siguientes parámetros se determinará el número de máquinas compresoras necesarias para cumplir con la demanda mensual de pintura, para la producción. De acuerdo a la teoría *Justo a Tiempo* se minimizan costos manejando inventarios mínimos, por lo que consideramos un inventario mensual (inicial y final) ideal igual a cero.

OFERTA DE TIEMPO

TIEMPO EXTRA

COSTO DE OFERTA DE TIEMPO

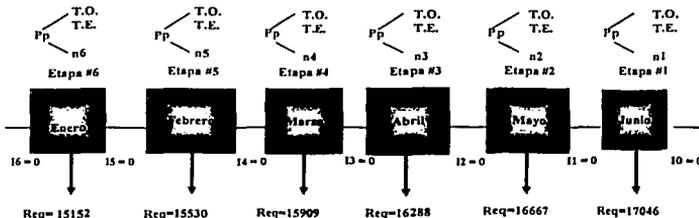
COSTO DE TIEMPO EXTRA

T.O. = 60 * 8 * número de días laborables en el mes i

T.E. = 60 * 2 * número de días laborables en el mes i

K1 = \$5,00 pesos por hora = \$0,08 pesos por minuto

K2 = 20% T.O. = \$0,10 pesos por minuto



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Ecuación a utilizar para definir el requerimiento mínimo de máquinas compresoras en el mes i.

$$n_i = \frac{\text{Requerimiento de tiempo máquina compresora en el mes } i}{60 * 8 * \text{Días laborales del mes } i}$$

Junio	n6 =	$\frac{17045}{9600}$	1,8	(1 ó 2 máquinas)
Mayo	n5 =	$\frac{16667}{11040}$	1,5	(1 ó 2 máquinas)
Abril	n4 =	$\frac{16288}{9600}$	1,7	(1 ó 2 máquinas)
Marzo	n3 =	$\frac{15909}{10560}$	1,5	(1 ó 2 máquinas)
Febrero	n2 =	$\frac{15530}{11040}$	1,4	(1 ó 2 máquinas)
Enero	n1 =	$\frac{15152}{9600}$	1,6	(1 ó 2 máquinas)

Análisis de costo mensual, utilizando 1 ó 2 máquinas:

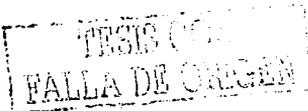
$$f_i = \text{Costo en el mes } i = K1 * T.O. + K2 * T.E. + K3 * II + \text{costo del mes } i-1$$

Junio	Requerimiento mensual =	17045 minutos tiempo/máquina compresora			
		12000	19200	4800	
KD1		12000			
KD2		1840	1600		1600

El costo mínimo en el mes de Junio se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Mayo	Requerimiento mensual =	16667 minutos tiempo/máquina compresora			
		22080	5520		
KD1		2760			
KD2		3716	3440		3440

El costo mínimo en el mes de Mayo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.



DISERÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Abril Requerimiento mensual = 16288 minutos tiempo/máquina compresora

	Requisito	Requisito	Requisito	Requisito
KD1	9600	2400	19200	4800
KD2	-	12000		24000
		5280	5040	5040

El costo mínimo en el mes de Abril se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Marzo Requerimiento mensual = 15909 minutos tiempo/máquina compresora

	Requisito	Requisito	Requisito	Requisito
KD1	10560	2640	21120	5280
KD2	-	13200		
		7064	6800	6800

El costo mínimo en el mes de Marzo se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Febrero Requerimiento mensual = 15530 minutos tiempo/máquina compresora

	Requisito	Requisito	Requisito	Requisito
KD1	11040	2760	22080	5520
KD2	-	13800		
		8916	8640	8640

El costo mínimo en el mes de Febrero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Enero Requerimiento mensual = 15152 minutos tiempo/máquina compresora

	Requisito	Requisito	Requisito	Requisito
KD1	9600	2400	19200	4800
KD2	-	10480	10240	10240

El costo mínimo en el mes de Enero se obtiene al utilizar dos máquinas sin tiempo extra.

Como se puede ver en el análisis de costos correspondiente a los primeros seis meses del año, la cantidad óptima de máquinas en la estación de pintura, para atender la demanda semestral con holgura y sin tener que recurrir a tiempos extras, es de 2 compresoras.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Resumen de requerimientos y costos (mensuales y semestrales) de la estación de pintura, dados en minutos/mes y pesos/mes:

MES	Req. Min.	Prod. Min.	Costo Min.	Costo Total	Costo Mensual
Enero	15152	19200	0	\$1.600	\$0
Febrero	15530	22080	0	\$1.840	\$0
Marzo	15909	21120	0	\$1.760	\$0
Abril	16288	19200	0	\$1.600	\$0
Mayo	16667	22080	0	\$1.840	\$0
Junio	17045	19200	0	\$1.600	\$0
Costo total semestral					\$10.240

Número óptimo de máquinas compresoras = 2

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Resultado del número de máquinas:

Cortadoras	2 máquinas
Dobladoras	3 máquinas
Soldadora por puntos	2 máquinas
Soldadora Eléctrica	3 máquinas
Compresoras (pintura)	2 máquinas

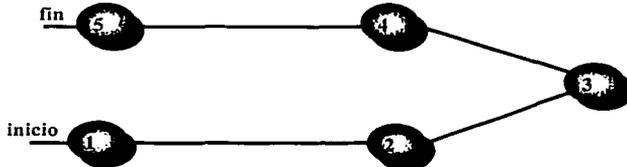
6.3 DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA.

A continuación se presenta la distribución lineal de la maquinaria, así como la distribución en "U".

Distribución lineal de la maquinaria:



Distribución en "U" de la maquinaria:



Se debe optar por una distribución en "U" ya que facilita la polivalencia del operario.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Determinación de áreas parciales con el método Guerchett.

El método Guerchett nos indica el área (en metros cuadrados) de cada máquina y el área total por estación de trabajo.

Máquina	N	Ss	Se	Sg	St
Cortadora	2	1 x 3	6	9	
Dobladora	1	1 x 3	3	6	
Soldadora por puntos	1	0,5 x 1	0,5	1	
Soldadora eléctrica	1	0,5 x 0,5	2	2,5	
Compresora	4	1 x 0,5	2	2,5	

En donde:

N = Número de lados de uso.

Ss = a x b

Se = N(a x b)

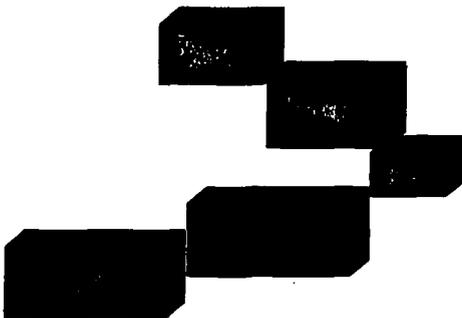
Sg = (Ss + Se)k

k = 1 para el sector mecánico ligero.

St = Área por máquina en metros cuadrados = Ss + Se + Sg

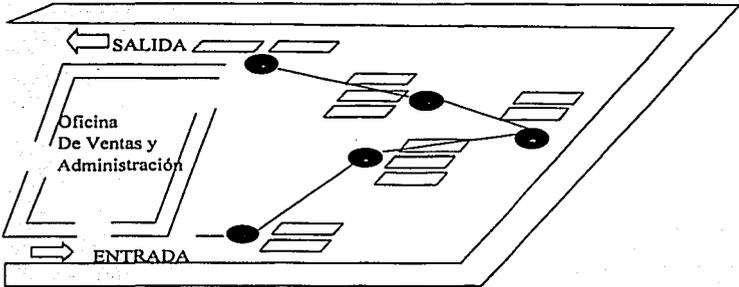
ETAPA	Máquina	St	No. Maq.	Superficie total
1	Cortadora	18	2	36 m ²
2	Dobladora	12	3	36 m ²
3	Soldadora por puntos	2	2	4 m ²
4	Soldadora eléctrica	5	3	15 m ²
5	Compresora	5	2	10 m ²

De acuerdo al número de máquinas necesarias para cada estación de trabajo y sus dimensiones, la distribución en bloque de la maquinaria es:



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

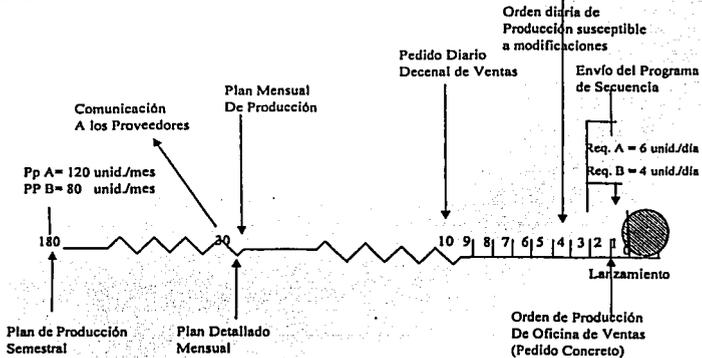
La distribución general de la maquinaria dentro del taller mecánico es:



6.4 NIVELACIÓN DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS A FABRICAR.

Enfoque gráfico de la nivelación.

A continuación se muestra el plan de producción semestral y como se determina el momento en que se realiza la orden de la cantidad de artículos a producir, de acuerdo a la orden de pedido del área de ventas.



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Cantidad de productos A y B a producir diariamente:

	Pronóstico de Ventas		Inventario	Producción Diaria A	Producción Diaria B	Producción Total Diaria
	Prod. A	Prod. B				
Enero	120	80	20	6	4	10
Febrero	120	85	23	5	4	9
Marzo	120	90	22	5	4	10
Abril	120	95	20	6	5	11
Mayo	120	100	23	5	4	10
Junio	120	105	20	6	5	11

ESTANDARIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

Conversión de Producción Múltiple a Simple.

Red Actual



Red Simple



6.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE OPERARIOS.

Tiempo estándar por máquina (Hora/Unidad) dado en minutos

Maquina	Temp. Estándar	Temp. Promedio	Temp. Máximo	Temp. Promedio	Tempo. estándar por hora
Cortadora	60	60	120	60	1
Dobladora	60	180	240	120	2
Sol. Eléctrica	40	120	160	80	1,3
Sol. Por puntos	120	60	180	90	1,5
Compresora	60	60	120	60	1

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

% Eficiencia 90% , Ineficiencia = 0,10
 Tasa de ausentismo = 10% = 0,10

Para efectos de velocidad en la entrega del primer producto al cliente, dividimos el proceso productivo en tres grupos:

Grupo	Maquina	Tempo estandar	Tempo promedio	Tempo promedio considerando ausentismo	Tempo promedio considerando ineficiencia
1	Cortadora y dobladora	3	3,3	3,7	4
2	Soldadura eléctrica y por puntos	2,8	3,1	3,5	3
3	Compresora para pintura	1	1,1	1,2	1
Total			7,6	8,4	8

El tiempo estandar por grupo, se obtiene al sumar el tiempo promedio en horas de las maquinas que forman el grupo.

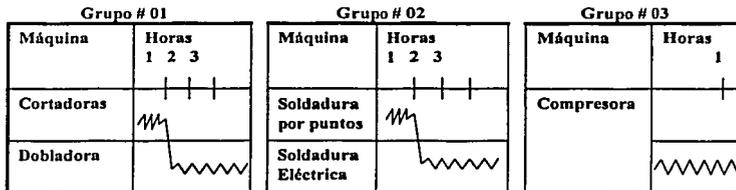
$$\text{Número de operarios} = \frac{\text{Tiempo estándar por grupo} \times 60}{60 \times (1 - \text{Tasa de Ineficiencia})}$$

$$\text{Número de operarios considerando ausentismo} = \frac{\text{Número de operarios}}{60 \times (1 - \text{Tasa de ausentismo})}$$

~~El número de operarios que se debe utilizar es:~~

Ya que los trabajadores pueden utilizar tiempo extra en la maquinaria.

A continuación se presentan las Cartas de Programación de Gantt, estas indican la secuencia de actividades para los operarios de los diferentes grupos, así como el momento en el cual se debe realizar el cambio de actividad.



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

6.6 Determinación de secuencia de líneas de montaje

Descripción de actividades de acabado de los productos A y B:

Producto A = Mesa de Cómputo
Producto B = Escritorios Auxiliares

- a1 = Limpieza del mueble con thinner.
- a2 = Masillado
- a3 = Lijado de masilla
- a4 = Pintado.
- a5 = Colocar cubierta de linóleoum
- a6 = Colocar cubierta de formalca
- a7 = Colocar chapa y jaladores

En la siguiente tabla se muestra la secuencia de actividades para cada producto, en donde se indica con "1" la actividad que corresponde al producto y con "0" si no corresponde.

Por ejemplo:

La celda a5 representa colocar cubierta de linóleoum y cómo se coloca cubierta de linóleoum al artículo B, a la celda a5-B le corresponde 1 y como en el producto A no se coloca cubierta de linóleoum a la celda a5-A le corresponde 0.

Producto	Componentes o Actividades						
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
A	1	1	1	1	0	1	0
B	1	1	1	1	1	0	1
Nf = Qi X Bij	10	10	10	10	4	6	4
Nj / aj	10/10	10/10	10/10	10/10	4/10	6/10	4/10

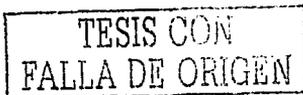
Esta tabla nos muestra el número de componentes o actividades por cada artículo del tipo A y del tipo B, así como el número total de ellos.

Para producir 6 artículos del producto A se utilizan 10 componentes a1, a2, a3 y a4, y 6 componentes a5. Para producir 4 artículos del producto B se utilizan 10 componentes a1, a2, a3 y a4 y 4 componentes a5 y a7.

En donde:

$$Nf = (\text{Componente del producto A } X 6) + (\text{Componente del producto B } X 4)$$

$$aj = \frac{\text{Número de componentes de los productos A y B}}{\text{Producción diaria}}$$



DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO.

Identificación de la secuencia.

Identificar la secuencia significa determinar el producto que debe entrar primero en la línea de ensamblaje, que producto debe seguirlo y cual termina la secuencia de montaje.

La siguiente tabla muestra la descripción de actividades y la mejor asignación del proceso de producción.

Componente	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
B	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	0
2	2	2	2	2	1	1	1
3	3	3	3	3	1	2	1
4	4	4	4	4	2	2	2
5	5	5	5	5	2	3	2
6	6	6	6	6	2	4	2
7	7	7	7	7	3	4	3
8	8	8	8	8	3	5	3
9	9	9	9	9	4	5	4
10	10	10	10	10	4	6	4



NOTA: ESTOS VALORES SE GENERAN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA TABLA SIGUIENTE.

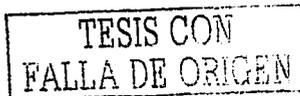
La tabla muestra el número de los componentes que se utilizan y el momento en que se utilizan para producir 10 artículos, 6 del producto A y 4 del producto B para lo cual se utilizan 10 componentes a1, a2, a3 y a4, 4 componentes a5 y a7, y 6 componentes a6.

Producto	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A	0,693	1,386	0,346	1,039	0	0,693	1,386	0,346	1,039	0
B	1,039	0,346	1,386	0,693	1,732	1,039	0,346	1,386	0,693	1,732

Resultados:

Secuencia	D1	D2	Secuencia	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
A	0,693	1,039	A	1	1	1	1	0	1	0
1	1,386	0,346	BA	2	2	2	2	1	1	1
2	0,346	1,386	ABA	3	3	3	3	1	2	1
3	1,039	0,693	BABA	4	4	4	4	2	2	2
4	0	1,732	ABABA	5	5	5	5	2	3	2
5	0,693	1,039	AABABA	6	6	6	6	2	4	2
6	1,386	0,346	BAABABA	7	7	7	7	3	4	3
7	0,346	1,386	ABAABABA	8	8	8	8	3	5	3
8	1,039	0,693	BABAABABA	9	9	9	9	4	5	4
9	0	1,732	ABABAABABA	10	10	10	10	4	6	4

EL CALCULO DE ESTAS TABLAS SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE SECCIÓN.



6.7 CÁLCULO DE LA SECUENCIA ÓPTIMA DE PRODUCCIÓN PARA LOS ARTÍCULOS A y B.

DETERMINACIÓN DEL 1^{ER} PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 1$

Para este caso el desvío $X_{jk-1} = 0$ para todos los j

$$D_{1A} = \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 10 - 0 - 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 4 - 0 - 0}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 6 - 0 - 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 4 - 0 - 0}{10}\right)^2} = 0.69$$

$$D_{1B} = \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 10 - 0 - 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 4 - 0 - 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 6 - 0 - 0}{10}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 4 - 0 - 0}{10}\right)^2} = 1.04$$

El mínimo es $D_{1B} = 0.69$

El primer producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} - Cuando $\Phi 1$

$$X_{11} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{21} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{31} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{41} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{51} = 0 + 0 = 0$$

$$X_{61} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{71} = 0 + 0 = 0$$



DETERMINACIÓN DEL 2^{DO} PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 2$

$$D_{2A} = \sqrt{\left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*4}{10} - 0 - 0\right)^2 + \left(\frac{2*6}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*4}{10} - 0 - 0\right)^2} = 1.39$$

$$D_{2B} = \sqrt{\left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*10}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*4}{10} - 0 - 1\right)^2 + \left(\frac{2*6}{10} - 1 - 0\right)^2 + \left(\frac{2*4}{10} - 0 - 1\right)^2} = 0.35$$

El segundo producto elegido es " B "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 2$

$$X_{12} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{22} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{32} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{42} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{52} = 0 + 1 = 1$$

$$X_{62} = 1 + 0 = 1$$

$$X_{72} = 0 + 1 = 1$$

DETERMINACIÓN DEL 3^{ER} PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 3$

$$D_{3A} = \sqrt{(3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + \left(3 \cdot \frac{4}{10} - 1 - 0\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{6}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{4}{10} - 1 - 0\right)^2} = 0.35$$

$$D_{3A} = \sqrt{(3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + (3-2-1)^2 + \left(3 \cdot \frac{4}{10} - 1 - 1\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{6}{10} - 1 - 0\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{4}{10} - 1 - 1\right)^2} = 1.39$$

El tercer producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 3$

$$X_{13} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{23} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{33} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{43} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{53} = 1 + 0 = 1$$

$$X_{63} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{73} = 1 + 0 = 1$$

DETERMINACIÓN DEL 4º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 4$

$$D_{4A} = \sqrt{(4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + \left(4 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 0\right)^2 + \left(4 \cdot \frac{6}{10} - 2 \cdot 1\right)^2 + \left(4 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 0\right)^2} = 1.04$$

$$D_{3A} = \sqrt{(4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + (4-3-1)^2 + \left(4 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 1\right)^2 + \left(4 \cdot \frac{6}{10} - 2 \cdot 0\right)^2 + \left(4 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 1\right)^2} = 0.69$$

El cuarto producto elegido es " B "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 4$

$$X_{14} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{24} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{34} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{44} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{54} = 1 + 1 = 2$$

$$X_{64} = 2 + 0 = 2$$

$$X_{74} = 1 + 1 = 2$$

DETERMINACIÓN DEL 5^o PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 5$

$$D_{5A} = \sqrt{(5-4)^2 + (5-4)^2 + (5-4)^2 + (5-4)^2 + \left(5 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 0\right)^2 + \left(5 \cdot \frac{6}{10} - 2 \cdot 1\right)^2 + \left(5 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 0\right)^2} = 1.73$$

$$D_{5B} = \sqrt{(5-4)^2 + (5-4)^2 + (5-4)^2 + (5-4)^2 + \left(5 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 1\right)^2 + \left(5 \cdot \frac{6}{10} - 2 \cdot 0\right)^2 + \left(5 \cdot \frac{4}{10} - 2 \cdot 1\right)^2} = 0$$

El quinto producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 5$

$$X_{15} = 4 + 1 = 5$$

$$X_{25} = 4 + 1 = 5$$

$$X_{35} = 4 + 1 = 5$$

$$X_{45} = 4 + 1 = 5$$

$$X_{55} = 2 + 0 = 2$$

$$X_{65} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{75} = 2 + 0 = 2$$

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

DETERMINACIÓN DEL 6º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 6$

$$D_{6A} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(6 \cdot \frac{4-2-0}{10}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 6}{10} - 3-1\right)^2 + \left(6 \cdot \frac{4-2-0}{10}\right)^2} = 0.69$$

$$D_{6B} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(6 \cdot \frac{4-2-1}{10}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 6}{10} - 3-0\right)^2 + \left(6 \cdot \frac{4-2-1}{10}\right)^2} = 1.04$$

El sexto producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 6$

$$X_{16} = 5 + 1 = 6$$

$$X_{26} = 5 + 1 = 6$$

$$X_{36} = 5 + 1 = 6$$

$$X_{46} = 5 + 1 = 6$$

$$X_{56} = 2 + 0 = 2$$

$$X_{66} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{76} = 2 + 0 = 2$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DETERMINACIÓN DEL 7º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 7$

$$D_{7A} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(7 \cdot \frac{4}{10} - 2 - 0\right)^2 + \left(7 \cdot \frac{6}{10} - 4 - 1\right)^2 + \left(7 \cdot \frac{4}{10} - 2 - 0\right)^2} = 0.35$$

$$D_{7B} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(7 \cdot \frac{4}{10} - 2 - 1\right)^2 + \left(7 \cdot \frac{6}{10} - 4 - 0\right)^2 + \left(7 \cdot \frac{4}{10} - 2 - 1\right)^2} = 1.39$$

El séptimo producto elegido es " B "

Cálculo de: X_{jk} - Cuando $\Phi 7$

$$X_{17} = 6 + 1 = 7$$

$$X_{27} = 6 + 1 = 7$$

$$X_{37} = 6 + 1 = 7$$

$$X_{47} = 6 + 1 = 7$$

$$X_{57} = 2 + 1 = 3$$

$$X_{67} = 4 + 0 = 4$$

$$X_{77} = 2 + 1 = 3$$

DETERMINACIÓN DEL 8º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 8$

$$D_{8A} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(8 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 0\right)^2 + \left(8 \cdot \frac{6}{10} - 5 - 1\right)^2 + \left(8 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 0\right)^2} = 0.35$$

$$D_{8B} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(8 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 1\right)^2 + \left(8 \cdot \frac{6}{10} - 5 - 0\right)^2 + \left(8 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 1\right)^2} = 1.39$$

El octavo producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 8$

$$X_{18} = 7 + 1 = 8$$

$$X_{28} = 7 + 1 = 8$$

$$X_{38} = 7 + 1 = 8$$

$$X_{48} = 7 + 1 = 8$$

$$X_{58} = 3 + 0 = 3$$

$$X_{68} = 4 + 1 = 5$$

$$X_{78} = 3 + 0 = 3$$

DETERMINACIÓN DEL 9º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 9$

$$D_{9A} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(9 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 0\right)^2 + \left(9 \cdot \frac{6}{10} - 5 - 1\right)^2 + \left(9 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 0\right)^2} = 1.04$$

$$D_{9B} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(9 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 1\right)^2 + \left(9 \cdot \frac{6}{10} - 5 - 0\right)^2 + \left(9 \cdot \frac{4}{10} - 3 - 1\right)^2} = 0.69$$

El noveno producto elegido es " B "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 9$

$$X_{19} = 8 + 1 = 9$$

$$X_{29} = 8 + 1 = 9$$

$$X_{39} = 8 + 1 = 9$$

$$X_{49} = 8 + 1 = 9$$

$$X_{59} = 3 + 1 = 4$$

$$X_{69} = 5 + 0 = 5$$

$$X_{79} = 3 + 1 = 4$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DETERMINACIÓN DEL 10º PRODUCTO A FABRICAR: $\Phi 10$

$$D_{10A} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(\frac{10 \times 4 - 4 \cdot 0}{10}\right)^2 + \left(\frac{10 \times 6 - 5 \cdot 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{10 \times 4 - 4 \cdot 0}{10}\right)^2} = 0$$

$$D_{10B} = \sqrt{(0+0+0+0) + \left(\frac{10 \times 4 - 4 \cdot 1}{10}\right)^2 + \left(\frac{10 \times 6 - 5 \cdot 0}{10}\right)^2 + \left(\frac{10 \times 4 - 4 \cdot 1}{10}\right)^2} = 1.73$$

El décimo producto elegido es " A "

Cálculo de: X_{jk} . Cuando $\Phi 10$

$$X_{1,10} = 9 + 1 = 10$$

$$X_{2,10} = 9 + 1 = 10$$

$$X_{3,10} = 9 + 1 = 10$$

$$X_{4,10} = 9 + 1 = 10$$

$$X_{5,10} = 4 + 0 = 4$$

$$X_{6,10} = 5 + 1 = 6$$

$$X_{7,10} = 4 + 0 = 4$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

Para poder aplicar el modelo matemático para la planeación de la producción a la micro-empresa metal mecánica "PERMMEX" S.A de C.V., que produce mesas para computadora y escritorios auxiliares, fue necesario la implementación de un plan integral de capacitación en la nueva forma de trabajar conforme al modelo y la capacitación de los empleados en el uso de más de una máquina (el 80% de los empleados sabía utilizar, de forma eficiente, más de una máquina).

Con la implantación del modelo y después de seis meses se obtuvieron los siguientes resultados:

La Teoría Justo a Tiempo no puede ser utilizada en las empresas mexicanas, sin hacerle algún tipo de modificación en cuanto a lo referente a "cero inventario" , ya que en México la compra y distribución de insumos no es eficiente. La Teoría Justo a Tiempo no permite, que al necesitar un insumo en cualquier estación de la línea de producción, se llame al proveedor y se reciba la respuesta: "No tenemos en existencia, llame en una semana haber si se la conseguimos" o "En cuanto llegue el chofer se lo mando"; en México tenemos que aplicar una variación del JIT, en donde consideremos un inventario mínimo necesario para cumplir con la producción.

El modelo determinó el número mínimo necesario de maquinaria en cada estación de trabajo, permitió que disminuyan los costos de maquinaria, operativos y de inventario; así mismo con la planeación del requerimiento de hora/máquina se disminuyeron los costos de mantenimiento de las mismas. Se amplió el espacio físico del área de producción, al no tener en planta maquinaria en exceso "sólo por si acaso hace falta"; la vida útil promedio de la maquinaria se incrementó y se observó ahorro de energía.

También se determinó la distribución óptima de la maquinaria, dentro del espacio físico para la producción de los artículos, con lo que se redujeron los accidentes de trabajo, se maximizó el espacio libre, las bodegas quedaron ubicadas en lugares estratégicos y resulta más fácil hacer los traslados de una estación de trabajo a la siguiente en la línea de ensamble de los artículos

Se determinó la cantidad de productos a fabricar mediante un estudio semestral, mensual y diario, con lo que el plan de producción se adapta a la demanda real y la cantidad que se produce cumple con la demanda y los productos terminados en inventario son mínimos. La polivalencia de los empleados ayuda a reaccionar más rápidamente ante los cambios en el gusto del cliente y la variación de la demanda.

La determinación de la secuencia en la línea de producción, nos ayuda a disminuir los tiempos muertos y las cargas excesivas de trabajo, tanto por período de tiempo como por estación de trabajo, así mismo define la mejor asignación de tiempos por operario en cada una de ellas.

La programación dinámica permitió que la demanda diaria de los artículos determine la producción y no la cantidad de insumos que se procesa al inicio de la línea de producción; con esto y la polivalencia de los operarios se permitió que las cargas de trabajo sean similares en cada estación de trabajo y que los insumos y/o productos semielaborados en inventario sean mínimos.

La calidad de los productos se incrementó, debido al establecimiento de topes de aceptación de artículos defectuosos y a que se responsabilizó a los operarios de la calidad de los productos semielaborados que llegan a su estación de trabajo.

Los costos disminuyeron y la calidad aumentó, esto se refleja en el precio de los productos, ya que en una Junta directiva se decidió ofrecer los productos a los clientes, con una disminución de precio de 8% para las mesas para computadora y del 5% para los escritorios auxiliares y extender la garantía de los mismos de 3 a 5 años.

Los modelos matemáticos utilizados en este trabajo demostraron que al optimizar el tiempo-máquina, el número de máquinas y su distribución, el número de operarios polivalentes, la nivelación de la cantidad de productos a fabricar, la estandarización de la producción y la determinación del orden de los artículos en la línea de montaje; se disminuyen costos, se maximiza el espacio físico, se previenen los accidentes de trabajo, se evita el desperdicio de tiempo y de insumos, se minimiza el inventario, se produce lo que determina la demanda, y se producen artículos con mayor calidad a menor precio.

Con la finalidad de establecer exitosamente un programa de calidad JIT, con inventario mínimo, en las empresas mexicanas, es necesario que los gerentes redireccionen las estructuras administrativas, haciendo énfasis en la reasignación de responsabilidades. Lo anterior derivado del hecho irrefutable de que únicamente reestructurando la línea de mando, es decir, eliminando puestos y tareas de supervisión, y reasignando responsabilidades, estaremos en posibilidades de implementar procesos que sean versátiles, flexibles y que nos permitan atender las necesidades en cuanto a demanda de productos y/o servicios. Es necesario invertir lo mínimo en inventarios, reducir el tiempo de entrega del producto y ser capaces de descubrir cualquier problema de calidad en el proceso de producción; lo que se verá reflejado al ofrecer al consumidor artículos de calidad a un menor precio, y sobre todo en el aumento de competitividad frente a las empresas extranjeras.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

Debemos estar conscientes de que la especialización en el trabajo resultó tener un costo muy alto para aumentar la productividad, está claro que únicamente a través de la diversificación de labores y la reasignación de roles una empresa podrá ser competitiva.

Las estructuras verticales han resultado ser demasiado estáticas para dar una respuesta eficaz ante los cambios en materia de producción y distribución, es momento de dar el valor que merece a la experiencia de los operarios, confiar en la capacidad de decisión de algunos operativos y hacerles partícipes de las tareas de supervisión en la línea de producción.

BIBLIOGRAFÍA:

1. David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams.
"An Introduction to Management Science," Qualitative Approaches to Decision Making, Eighth Edition, Ed. West Publishing Company
2. Yasuhiro Monden.
"El Sistema de Producción Toyota". Tercera Edición 1998. Editorial la Madrid S.A.
3. Taiichi Ohno.
"El Sistema de Producción Toyota" Más allá de la producción a gran escala. Ed. Gestión, Barcelona, 179p.
1. David A. Aaker, George S. Day.
" Investigación de Mercados". Tercera Edición. 1988.
Johon Wiley- Sons Inc. México.
5. Ackoff, Rusell L.
"Planificación de la empresa del futuro". Editorial Limusa, Mexico,1990.
6. Caceres, Luis Rene.
Estrategia, Planificación y Control.
Fondo de Cultura Económica, Mexico 1991.
7. Hermida, Jorge., Serra , Roberto.
Administración y Estrategia.
Editorial Macchi, Buenos Aires, 4° edición, 1992
8. Xavier Verge- José Luis Martínez.
" Estrategia y Sistema de Producción de las empresas Japonesas".
Primera Edición 1992. Editorial Romaya/ Valls S.A Barcelona.
9. George W. Plossl.
"Control de Producción e Inventarios". Segunda Edición 1995.
Editorial Prentice Hall Hispanoamérica. S.A. México.
10. Richard B. Chasse, Nicholas J. Anquilano.
" Dirección y Administración de la Producción y las Operaciones".
Sexta Edición 1994. Editorial Addison- Wesley Iberoamericana. Estados Unidos.
11. Richard I. Levin, David S. Rubin.
"Estadística para administradores"
Sexta Edición 1994. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana. México

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO
EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

12. Thomas E. Vollman, William L. Berry.
"Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación"
tercera Edición 1994, Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. EEUU
13. Peater L. Primrose.
" Investment in Manufacturin Technology" First edition 1991.
Printed in Great Britain by St Edmundsbury Press.
14. Joseph G. Monk Ph. D.
"Administración de Operaciones"
Primera Edición 1996, Litografía, Ingramex- méxico.
15. Hamid Noori- Russel Radford.
" Administración de Operaciones y Produccion".Calidad Total y respuesta
sensible rápida.
Primera Edición 1997. Mc Graw-Hill. Interamericana S.A. Colombia.
16. William J. Stevenson.
" Production Operation Management". Sixth Edition. 1999.
Printed: Mc Graw Hill. N.Y. USA.
17. Shonbrger
"Técnicas Japonesas de Fabricación"
Ed. Limusa, México.
18. "Haamid Noori, Russell Radford.
"Administración de Operaciones y Producción"
Ed. Mc. Graw Hill.
19. Charles P. Bonini, Warren H. Hausman, Harold Bierman, Jr.
" Quantitative Analysis por Management" Ninth Edition 1997.
Printed: Irwin. USA.
20. James A.F. Stoner, R. Edward Freeman, Daniel R. Gilbert, Jr.
"Administración". Sexta Edicion.1995.
Prentice Hall. Colombia.
21. Shigeru Mizuno
"Management for Quality Improvement": The seven New Tools, Ed. By Shigeru
Mizuno, 1988, 304 p.
22. Edward J. Hay
"Justo a Tiempo, La técnica Japonesa que genera mayor ventaja competitiva",
Ed. Norma 198, 9245 p.

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO

23. A. Kaufmann
"Aplicación de la Programación Dinámica a los Procesos en Secuencia" Ed. Dirección Gral. De Proyectos y Laboratorios, México 1963, 44p
24. A. Kaufmann.
"Métodos y Modelos de la Programación Dinámica", Ed. Continental, 1966, México, 567p.
25. Peter C. Reid
"Bien Hecho en América. Lecciones de Harley Davidson para sobrevivir ante la Competencia Internacional"
McGraw-Hill, 1991
26. Edmundo R. Gray, Larry R. Smaltzer
"Management. The Competitive Edge"
Mac. Millan Publishing Company, New York, 1990
27. Philip C. Thomson.
"Círculos de Calidad. Cómo hacer que funcionen"
Editorial Norma, Impreso en Colombia, 1984