

UNIVERSIDAD LA SALLE  

---

---

**ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

300617  
**ULSA**

8  
2 ej

**"PROGRAMACION DE UNA FABRICA DE REMACHES  
PROYECCION DE UN MODELO DE OPTIMIZACION"**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
CON AREA PRINCIPAL EN INGENIERIA  
INDUSTRIAL

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

PRESENTA

**CARLOS MIGUEL BARBER KURI**

DIRECTOR DE TESIS

**ING. FERNANDO GUILLEMIN MARTIN DEL CAMPO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **INDICE**

---

### **PROGRAMACION DE UNA FABRICA DE REMACHES PROYECCION DE UN MODELO DE OPTIMIZACION**

<b>PROEMIO</b> .....	PAG. 1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>INVESTIGACION DE OPERACIONES HERRAMIENTA A UTILIZAR EN LA</b>	
<b>RESOLUCION DE NUESTRO PROBLEMA</b> .....	PAG. 3
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES .....	PAG. 3
DESARROLLO DE LA ADMINISTRACION CIENTIFICA.....	PAG. 5
PLANEAMIENTO .....	PAG. 6
PREPARACION.....	PAG. 6
CONTROL .....	PAG. 6
EJECUCION .....	PAG. 6
1.2 CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES .....	PAG. 8
1.3 DEFINICION DE INVESTIGACION DE OPERACIONES .....	PAG.11
1.4 MODELOS EN LA INVESTIGACION DE OPERACIONES .....	PAG.13
MODELOS DE SECUENCIACION .....	PAG.16
MODELOS DE REEMPLAZO .....	PAG.17
MODELOS DE INVENTARIO.....	PAG.17

MODELOS DE ASIGNACION.....	PAG.17
MODELOS DE PROGRAMACION DINAMICA.....	PAG.17
MODELOS COMPETITIVOS.....	PAG.17
MODELOS DE LINEA DE ESPERA.....	PAG.18
TECNICAS DE SIMULACION.....	PAG.18
MODELOS DE RUTA.....	PAG.18
METODOS DE BUSQUEDA Y HEURISTICOS.....	PAG.18

## **CAPITULO II**

### **ESCENARIO DE DESEMPEÑO DE LA EMPRESA**

EN MEXICO .....	PAG.19
2.1 ENTORNO DE LA EMPRESA.....	PAG.19
2.2 SITUACION DE LA EMPRESA EN MEXICO .....	PAG.21
2.3 PERSPECTIVAS ECONOMICAS PARA 1992 AMENAZAS Y OPORTUNIDADES .....	PAG.24

## **CAPITULO III**

### **PROYECCION DE LA INVESTIGACION DE**

### **OPERACIONES EN LA RESOLUCION DE**

PROBLEMAS PRACTICOS EN LAS EMPRESAS .....	PAG.34
3.1 TEORIA DE LAS PROBABILIDADES.....	PAG.34
CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE CERTIDUMBRE .....	PAG.36
CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE RIESGO.....	PAG.37
CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE .....	PAG.39
CRITERIO DE HURWICZ.....	PAG.39
CRITERIO DE WALD .....	PAG.40
CRITERIO DE SAVAGE .....	PAG.41
CRITERIO DE LAPLACE.....	PAG.41

PROBABILIDADES MARGINALES .....	PAG.43
PROBABILIDADES CONJUNTAS .....	PAG.43
PROBABILIDADES CONDICIONALES.....	PAG.43
3.2 INCERTIDUMBRE.....	PAG.45
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DISCRETA .....	PAG.46
TABLA DE GANANCIAS CONDICIONALES.....	PAG.47
TABLA DE PERDIDAS CONDICIONALES.....	PAG.48
3.3 OPTIMIZACION .....	PAG.53
DIFERENCIACION.....	PAG.53
INTEGRACION .....	PAG.54
DERIVADAS PARCIALES.....	PAG.54
MULTPLICADORES DE LAGRANGE .....	PAG.55
3.4 ANALISIS DE INSUMO-PRODUCTO.....	PAG.57
3.5 PROGRAMACION LINEAL .....	PAG.59
3.6 CONTROL DE INVENTARIOS.....	PAG.61
INVENTARIO FUNCIONAL.....	PAG.61
INVENTARIO DE SEGURIDAD .....	PAG.61
INVENTARIOS DE ANTICIPACION .....	PAG.61
3.7 METODO SIMPLEX.....	PAG.63
PROGRAMA APLICANDO METODO SIMPLEX.....	PAG.65
3.8 ANALISIS DE MARKOV .....	PAG.68
CADENA O ANALISIS DE MARKOV .....	PAG.69
3.9 LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN NUESTRO PROBLEMA .....	PAG.70

## CAPITULO IV

METODOLOGIA EN LA RESOLUCION DEL PROBLEMA DE LA EMPRESA .....	PAG. 73
4.1 ESTRUCTURA DEL METODO .....	PAG. 73
4.2 IMPLANTACION DEL METODO.....	PAG. 75
4.3 SEGUIMIENTO DEL METODO .....	PAG. 77

## CAPITULO V

### ELABORACION DEL SISTEMA SOLUCION A LA CANTIDAD OPTIMA A PRODUCIR

DEL REMACHE TIPO "N" .....	PAG. 83
5.1 ORGANOS DE UNION .....	PAG. 83
TORNILLOS.....	PAG. 84
PERNOS.....	PAG. 85
SOLDADURA .....	PAG. 87
5.2 UTILIDAD E IMPORTANCIA DEL REMACHE.....	PAG. 88
5.3 PROCESOS DE MANUFACTURA DE REMACHES.....	PAG. 90
5.4 MECANICA INTEGRAL DE LOS REMACHES.....	PAG. 95
CALCULO DE LOS REMACHES EN JUNTAS.....	PAG. 98
TIPOS DE REMACHES .....	PAG.102
CALCULOS DE DISEÑO PARA LOS REMACHES CIEGOS.....	PAG.107
DISEÑO DE BORDE.....	PAG.107
ESPACIAMIENTO.....	PAG. 107
LONGITUD.....	PAG.108
HOLGURA DEL HUECO .....	PAG.108
HOLGURA .....	PAG.108
HOLGURA POSTERIOR.....	PAG.108
HUECOS CIEGOS O RANURAS.....	PAG.109
UNIONES REMACHADAS.....	PAG.109
UNIONES ESTANCADAS.....	PAG.110

UNIONES DE CAUCHO, PLASTICO O MATERIAL SINTETICO.....	PAG.110
UNIONES ARTICULADAS .....	PAG.110
FIJACION DE UNA BARRA SOLIDA.....	PAG.111
FIJACION DE TUBOS.....	PAG.111
UNIONES EN TUBERIA.....	PAG.111
LAMINAS METALICAS.....	PAG.111
USO DE FUERZAS DE HALADO.....	PAG.112
SECCIONES EN PANAL .....	PAG.112
5.5 PROGRAMACION DE UNA FABRICA DE REMACHES CANTIDAD OPTIMA A PRODUCIR DE REMACHES TIPO "N" .....	PAG.113
5.6 DEFINICION DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE OPTIMIZACION DE LA EMPRESA.....	PAG.119
5.7 APLICACION DEL MODELO DE OPTIMIZACION REMHER, REMACHES Y HERRAMIENTAS S.A. DE C.V.....	PAG.128
5.8 ESPECIFICACIONES DE REMHER.....	PAG.140
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>PAG.148</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>PAG.153</b>

## PROEMIO

---

Los antecedentes favorables que en nuestro país ha tenido la profesión de *ingeniero mecánico electricista*, ha traído como consecuencia un prestigio inusitado a la profesión, al igual que ha obligado a los profesionales a desarrollar un amplio sentido de responsabilidad al proyectarse hacia los mas variados campos y niveles de labores.

El *ingeniero* debe cumplir con un requisito que afianza ese prestigio merecidamente ganado: la elaboración de un trabajo denominado *tesis*, requisito con el cual obtiene el título profesional.

Desde el principio de la vida profesional, los alumnos se forman una inquietud que habrá de transformarse en la realización de una *tesis*; tal vez desde entonces se tenga alguna idea de la base para la elaboración de ese trabajo. Tal inquietud lleva al alumno a desarrollar una actividad de investigación con el fin de obtener algo novedoso, explicar el por qué de las cosas o precisar algo que no esté claramente definido.

Mi decisión ha sido abarcar el campo de la *investigación de operaciones*, el cual ha tenido mayor aplicación en las empresas mexicanas por los grandes beneficios que reporta en su utilización.



El presente trabajo lo he denominado:

**"PROGRAMACION DE UNA FABRICA DE REMACHES  
PROYECCION DE UN MODELO DE OPTIMIZACION"**

en virtud a los problemas que la industria tiene que afrontar en relación a sus procesos de producción.

Mi intención es aportar algo de utilidad con mi trabajo y que este pueda ser aplicado a cualquier tipo de empresa que lo requiera.

Carlos Miguel Barber Kuri

## CAPITULO I

---

### INVESTIGACION DE OPERACIONES HERRAMIENTA A UTILIZAR EN LA RESOLUCION DE NUESTRO PROBLEMA

#### 1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

Los antecedentes más remotos de la *investigación de operaciones* se pueden localizar en el origen de la Revolución Industrial. Naturalmente que en aquel entonces la rama que nos ocupa no existía como tal, como tampoco existían muchas otras ramas técnicas que en la actualidad se usan en diferentes profesiones.

La *investigación de operaciones* actualmente funciona como rama colateral de la empresa misma, ayudando en la obtención de objetivos a los cuales el ambiente empresarial está necesariamente sometido; situación que en el pasado no ocurría. Los antiguos talleres de nuestros abuelos, que funcionaban bajo el parámetro de producir bien pero sin orden, fueron la base de la empresa moderna. Por ello, la gran

diversificación de elementos que las empresas actualmente precisan para su funcionamiento, han dado lugar a la creación de ramas tales como la *investigación de operaciones*.

Los enfoques de resolución de problemas también han ido evolucionando. Así, podemos diferenciar un enfoque histórico, de observación y de sistematización. El enfoque histórico se refiere al planteamiento y resolución de problemas mediante un punto de vista estático. Generalmente no da muy buena ayuda ya que los sistemas en los que se desenvuelven las empresas son sumamente dinámicos y una situación determinada puede ser altamente diferente de cualquier otro caso con la misma problemática.

En la observación de casos, las soluciones ofrecidas reflejan una alta creatividad debido al análisis de casos semejantes; sin embargo, cuando se trata un enfoque de tipo sistemático se ofrecen muchísimas más ventajas, ya que se basa en sistemas técnicos muy adaptables a cualquier situación, este enfoque de resolución se puede basar en los anteriores además de involucrar un enfoque científico, lo cual lo hace altamente eficiente.

Esa eficiencia necesaria para la empresa de nuestra época, depende de los modelos cuantitativos así como del uso adecuado de las computadoras para la resolución de problemas de rutina tanto como para los más complejos y bien estructurados. La *investigación de operaciones*, uniendo estas dos herramientas y viendo al sistema desde un enfoque de resolución sistemático, plantea problemas, crea modelos,

utiliza los sistemas, interpreta resultados, toma decisiones y resuelve problemas presentando la solución óptima.

#### **DESARROLLO DE LA ADMINISTRACION CIENTIFICA**

La administración científica tiene su origen desde el primer momento en que se convirtió en necesidad el crear una ciencia de la administración. Este fenómeno surgió con el estudio del trabajo de los operarios y el énfasis en sus tareas.

Taylor, el padre de la administración científica, empieza por estudiar la racionalización del trabajo de los operarios fundamentado en el análisis del trabajo operacional, en el estudio de tiempos y movimientos, la fragmentación de las tareas y la especialización del trabajador.

Los principios realizados por Taylor aparecen como afirmaciones válidas a una determinada situación prevista. Taylor propone los siguientes principios:

▣ 1. PLANEAMIENTO

Sustituir la improvisación por la ciencia, mediante la planeación del método.

▣ 2. PREPARACION

Seleccionar científicamente a los trabajadores de acuerdo a sus aptitudes y entrenándolos para producir más y mejor según lo planeado. Preparar también las máquinas y equipos de

producción considerando la disposición racional de las herramientas y materiales.

▣ 3. CONTROL

Controlar el trabajo, para de esta manera mantener las normas establecidas según lo planeado. Esto se logra cuando la gerencia coopera con los trabajadores de manera que la ejecución sea lo mejor posible.

▣ 4. EJECUCION

Distribuir atribuciones y responsabilidades para que la ejecución del trabajo sea disciplinada.

Taylor buscaba conseguir el rendimiento máximo, en vez del rendimiento óptimo.

Henry L. Gantt, estudia lo referente a los trabajos sobre programación de la producción. De esta forma, Gantt planea cada tarea de una máquina a otra para aminorar las demoras de la producción. De ésta forma se podían fijar fechas de entrega con más exactitud. Entre otras contribuciones, Gantt recomendó el establecimiento del departamento de personal dentro del enfoque científico de Taylor.

Por otro lado, Frank B. y Lillian E. Gilbreth estudian los movimientos innecesarios e ineficientes en cada tarea de una forma más específica que Gantt.

Henry Joseph Fayol, ingeniero francés, se dedica a estudiar los escalones superiores de una empresa teniendo un enfoque diferente al

presentado por Taylor. Fayol visualiza la empresa en un sistema Jerárquico y la analiza desde arriba hacia abajo contrario a lo que sucedía en Estados Unidos con Taylor.

Todos ellos hacen contribuciones muy significativas a la administración científica ya que utilizan el método científico para determinar lo que debería hacerse en las circunstancias que se presentarán. Sin embargo para llegar a esta situación se tuvo que haber pasado por toda una serie de pruebas que fueron los elementos formativos de la administración científica. En la misma medida que la ciencia avanzaba en otras ramas como la medicina, la ingeniería de combate (ya que en un periodo de 50 años se sucitaron en el mundo varias guerras entre ellas dos mundiales), cohertería, matemáticas, física, etc. también se sentaban las bases para la *investigación de operaciones* de una manera científica y los pioneros de tal circunstancia fueron los países militarizados.

Cuando las guerras de mediados de siglo, principalmente la Segunda Guerra Mundial, terminaron, los países militarizados se encontraron con otros objetivos diferentes y el personal utilizado para la *investigación de operaciones* de guerra, se destinó a otras actividades principalmente gubernamentales e industriales, y en ellos los pioneros fueron los Británicos.

Esta semilla germinó y dio frutos en la década de los cincuentas y las principales compañías americanas de petróleo, acero, minería, incluyen ya empleados dedicados a la *investigación de operaciones* y de hecho ese inicio no se ha detenido y en el futuro se ampliará a campos que probablemente no imaginemos todavía pero siempre basados en la

*investigación de operaciones*, aún cuando el objetivo militar hemos visto que no se ha sustituido totalmente.

## 1.2 CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

Las características esenciales de la *investigación de operaciones* quedan determinadas por:

- a) Estudio minucioso de las relaciones funcionales de un sistema.
- b) Utilización de un grupo interdisciplinario.
- c) Adopción de un enfoque planeado. (método científico).
- d) Descubrimiento de nuevos problemas para su estudio.

Por lo que se refiere al estudio minucioso de las relaciones funcionales de un sistema observamos que en cualquier empresa las actividades de cualquiera de sus áreas interactúa con las funciones de otras, y así sucesivamente hasta influenciar a toda la actividad de la empresa. El grupo de *investigación de operaciones* deberá analizar concienzudamente el problema, examinando todos los elementos de cada departamento afectado, conociendo sus efectos y simulando su aplicación.

Quando se conocen todos los factores que afectan un sistema, puede construirse un modelo matemático el cual debe dar por resultado el mejoramiento de las utilidades de la empresa en general, a lo cual se le llama optimización.

En caso de que no se mejoren las utilidades de empresa, y tan solo se resuelva el problema de uno o varios de los departamentos, se le llamará suboptimización; esto es causado por un mal planteamiento del problema, un desequilibrio total dentro de toda la empresa en el desarrollo de las funciones individuales. Otros casos de suboptimización se deben al hecho de no examinar todas las alternativas disponibles y de no tener en cuenta toda la información pertinente.

Un grupo Interdisciplinario es sumamente valioso en la resolución de problemas de *investigación de operaciones*, ya que las diversas áreas dan enfoques diferentes para la resolución de un mismo problema. En un inicio la utilización de grupos interdisciplinarios fue un hecho de necesidad, debido a que no existían en ese entonces suficientes hombres de ciencias.

Otras ventajas radican en que la mayor parte de los problemas de negocios tienen aspectos contables, biológicos, económicos, matemáticos, físicos, psicológicos, sociológicos, estadísticos y de ingeniería; dando por resultado una indiscutible intervención de diversas ramas para la optimización de la empresa.

El método básico de la *investigación de operaciones* comprende la utilización del método científico. Definitivamente se observa que en la resolución de problemas el aspecto básico es encontrar nuestra "Z" objetivo, cuál va a ser la función a maximizar o minimizar, cuál es el problema a resolver. No es difícil imaginar que durante el proceso de resolución se encontraran una serie de variables controlables y no controlables que estarán interactuando en el sistema; dichas variables



pueden ser fácilmente identificadas como ecuaciones en el modelo matemático. Un modelo matemático puede llegar a complicarse demasiado, de hecho, la solución a una amplia gama de problemas de la *investigación de operaciones* radica en la división de un problema grande en pequeños, y su representación matemática por medio de un sistema de ecuaciones. De ésta forma, una variable no controlable como lo puede ser los precios de la competencia, los costos de la materia prima, de la mano de obra, la variación de la demanda y la localización de los clientes pueden ser identificados por medio de números. Esta ventaja que presenta las matemáticas es valiosa por sí misma, ya que si bien el modelo se puede simular con números negativos (situación que no podría suceder en la realidad cuando se hablara de producción en número de unidades de coches, mantequilla, o cualquier producto o servicio imaginable) también pueden evitarse grandes errores vivenciales al hacer una corrida en papel. Se determina entonces que la solución es altamente precisa, involucrando cualquier tipo de variable.

El hecho de utilizar variables nos conduce a definir entonces a las restricciones llevadas a cabo con una serie de ecuaciones suplementarias o desigualdades en las que se usan las condiciones de mayor que y menor que lo cual es perfectamente evidente en la programación lineal. El objetivo básico de la *investigación de operaciones* será entonces el de reducir costos y optimizar las utilidades. Su método abarcará desde la observación, definición del problema, hasta la formulación de una hipótesis, experimentación y verificación.

Frecuentemente, nos damos cuenta que al resolver un problema de *investigación de operaciones*, este se encuentra unido a otros problemas más y así sucesivamente. Estamos descubriendo nuevos problemas a partir del estudio de uno solo y estos a la vez están interactuando en el sistema. El propósito será eliminar uno tras otro de los problemas hasta donde los límites del estudio lo permitan, o bien encontrar una solución que contrarreste a todos los demás como sucede al eliminar un problema desde la raíz, o bien delimitar adecuadamente la interacción del problema básico para no divagar en la solución.

### 1.3 DEFINICION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

Conforme a lo visto anteriormente el lector podrá darse una definición imaginativa de la *investigación de operaciones*, sin embargo trataré de dar una definición de lo que es la *investigación de operaciones* apoyado en la opinión de varios autores. Comenzaré por definir que cosa debe de entenderse por operación:

Según el Diccionario de la Real Academia Española operación es:

*"La acción de una potencia, de una facultad o de un agente que produce un efecto".*

Otra definición sería:

*"Conjunto de los medios que se ponen en juego para conseguir un resultado".*

Con base en estas definiciones, la *investigación de operaciones* sería en mi opinión, la siguiente:

*"El conjunto de acciones analíticas de base científica que sirve para conocer las causas que originan un problema y sus posibles soluciones valiéndose de un grupo interdisciplinario".*

Conforme a algunos autores, la *investigación de operaciones* se define:

*"La investigación de operaciones es un método científico para dar a los departamentos ejecutivos una base cuantitativa para las decisiones relacionadas con las operaciones que están bajo su control".*

MORSE Y KIMBALL

*"La aplicación de métodos científicos, técnicas e instrumentos, a los problemas relacionados con la operación de los sistemas, a fin de proporcionar a los que controlan las operaciones las soluciones óptimas para los problemas".*

G.W.CHURMAN

*"La investigación de operaciones es la aplicación del método científico al estudio de las operaciones de las grandes y complejas organizaciones o actividades; puede proporcionar a los administradores de alto nivel una base cuantitativa para las decisiones que aumentan la eficacia de esas organizaciones para llevar a cabo sus propósitos básicos".*

COMITE DE INVESTIGACION DE OPERACIONES  
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACION USA.

#### **1.4 MODELOS EN LA INVESTIGACION DE OPERACIONES**

Un modelo es una representación o abstracción de una situación u objetos reales, que muestra las relaciones (directas o indirectas) y las

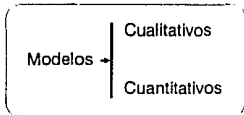
interrelaciones de la acción y la reacción en términos de causa y efecto. De esta forma un modelo es una abstracción de la realidad.

Existen varios tipos de modelos entre los cuales menciono los icónicos, analógicos y simbólicos.

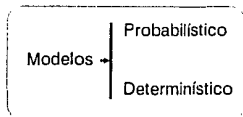
Los modelos icónicos son aquellos que tienen una representación física en el espacio unidimensional, bidimensional y hasta tridimensional. Pueden ser en forma idealizada o en escala distinta. Ejemplos de estos modelos están una fotografía, mapa, maqueta, plano, el objeto mismo como un coche, una computadora. En el momento en que el problema de *investigación de operaciones* sobrepasa la tercera dimensión, los modelos icónicos dejan de actuar por no tener representación física y por lo tanto entran los modelos simbólicos o matemáticos.

Los modelos analógicos se utilizan para sustituir frecuentemente a los modelos icónicos, ya que muestran una representación dinámica e instantánea del sistema. Ejemplos son las curvas de distribución de frecuencia y los diagramas de flujo.

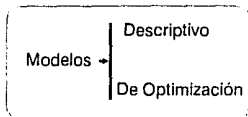
Los modelos matemáticos o simbólicos son aquellos que utilizan para la representación abstracta de la realidad números y símbolos así como cifras matemáticas. El modelo matemático más utilizado en la *investigación de operaciones* es la ecuación. Los modelos matemáticos pueden separarse en:



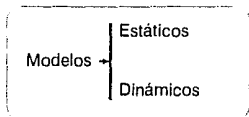
Los modelos cualitativos son aquellos en los que se reflejan la mayor parte del pensamiento relacionado con los problemas de negocios siendo la *investigación de operaciones* la que se ocupa de la sistematización de dichos modelos y de su desarrollo hasta que puedan cuantificarse, (sin ser esta su única función). Los modelos cuantitativos son los modelos matemáticos que abstraen el problema de la realidad utilizando símbolos para representar las variables y constantes.



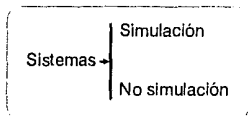
Modelo probabilístico es aquel que requiere para su construcción la utilización de probabilidades y estadísticas que se ocupan de las incertidumbres futuras. En tanto, los modelos determinísticos son aquellos que no contienen consideraciones probabilísticas, arrojan un resultado exacto dando cantidades determinadas, ejemplos de este modelo son el PERT, ganancia nula, inventarios y programación lineal.



El primero se encarga únicamente de describir la situación en cualquier instante de un sistema, y no intenta obtener la solución óptima. El segundo tiene por objetivo el seleccionar la mejor solución para un problema dado.



Los primeros se asumen condiciones en el planteamiento del modelo que probablemente no cambiarán de manera significativa en un período a corto plazo, mientras que los dinámicos sí. En programación lineal se utiliza mucho los modelos estáticos.



Sistemas a los que se le incertan datos reales o no reales, mediante los cuales se realizan las corridas utilizando la computadora como herramienta y obteniendo resultados aplicables después de realizar una serie de cálculos secuenciales paso por paso.

Con todos estos tipos de modelos, la *investigación de operaciones* recurre a la Teoría de las Probabilidades como una medida de reducción de la incertidumbre, y a la Técnica Matemática como auxiliar, soporte y desarrollo de la investigación. Los modelos deben de partir de la ubicación del problema, la determinación de que tan complejo se desea que sea el modelo así como la definición de las variables más importantes que influyen en él. Una vez identificado el sistema nos disponemos a hacer el modelo que represente a la realidad, se prueba y evalúan resultados y se observa la exactitud que éste presente, posteriormente se refina el modelo actual y así sucesivamente cuantas veces sea necesario o bien se acepta como bueno el modelo existente.

De ésta forma, la *investigación de operaciones* ha utilizado diferentes métodos cuantitativos y modelos específicos que funcionan en situaciones determinadas. Podemos mencionar:

▣ **MODELOS DE SECUENCIACION**

Determinan la secuencia óptima para una serie de tareas o eventos, o la mejor secuencia para dar servicios a los clientes, a fin de aminorar el total de tiempo y de costos. Ejemplo PERT (Evaluación de Programas y Técnicas de Revisión).

▣ **MODELOS DE REEMPLAZO**

Estudian los artículos que se deterioran a través del tiempo y los que fallan después de un determinado período.

▣ **MODELOS DE INVENTARIO**

Se encargan de determinar la cantidad a ordenar y el tiempo a ordenar cada vez, a fin de aminorar el costo total.

▣ **MODELOS DE ASIGNACION**

Cuando se tienen escasos recursos y se desea realizar varias actividades, se tiene un problema de asignación si existen formas alternativas de ejecutarlas. Se busca la optimización de tiempo, recursos y utilidades mediante una adecuada combinación.

▣ **MODELOS DE PROGRAMACION DINAMICA**

Propone soluciones tomando en cuenta los efectos de las decisiones de hoy sobre los períodos futuros. Es sumamente útil en los procesos que se extienden a cierto número de períodos o eventos.

▣ **MODELOS COMPETITIVOS**

Los cuales utilizan la teoría de juegos planteando y simulando los problemas de competencia.

▣ **MODELOS DE LINEA DE ESPERA**

Llamada a veces teoría de colas se ocupa de las llegadas aleatorias a una instalación de servicio o de procesamiento de capacidad limitada.



▣ **TECNICAS DE SIMULACION**

Utilizando números aleatorios para simular llegadas y períodos de servicio que también son aleatorios.

▣ **MODELOS DE RUTA**

Disminución de costos por la decisión de la ruta o trayecto a seguir por el camino más corto y cumpliendo con todas las especificaciones requeridas.

▣ **METODOS DE BUSQUEDA Y HEURISTICOS**

Denota sistemas de aprendizaje o de adopción automática; se basa en conjeturas razonables y analiza las sendas más probables para llegar a una solución.

## CAPITULO II

---

### ESCENARIO DE DESEMPEÑO DE LA EMPRESA EN MEXICO

#### 2.1 ENTORNO DE LA EMPRESA

La empresa en México tiene sus orígenes en el nacimiento de la empresa europea que a su vez es producto, como se mencionó ya, de la Revolución Industrial. Es desde luego, importante no confundir el concepto de empresa con el concepto genérico de comercio el cual se viene practicando desde hace miles de años y cuyos antecesores más remotos, formalmente establecidos, fueron los fenicios.

Por tanto, debemos de aceptar que la semilla de crecimiento de la empresa en México es de origen europeo. Sin embargo, esto nada mas es así, ya que su crecimiento, desarrollo, alcances, estilo y objetivos, son sin lugar a dudar de origen norteamericano.

La empresa como ente de desarrollo tiene sus alcances originales a principios de siglo desde luego en los Estados Unidos y en Inglaterra pero es en los Estados Unidos donde cobra más fuerza su desarrollo al grado tal que la gran crisis económica de 1928 afectó más a este país que a ningún otro. Sin embargo, como ave phoenix, el poderío industrial de los

E.E.U.U. no se hizo esperar y las empresas que ya se habían creado y que se pueden considerar macroempresas, resurgieron de las cenizas de la depresión económica.

No es desde luego, mi intención el hacer un tratado económico de la empresa sino solo poner algunos antecedentes de paralelismo existentes en el crecimiento de la empresa en México, y por tanto, es importante hacer notar que en la medida que en las empresas norteamericanas y canadienses se daba un crecimiento económico, también en México este se presentaba.

México es un país híbrido en donde las macroempresas, excepto unas cuantas que son mexicanas entre ellas Petróleos Mexicanos, el resto está representado por grandes compañías transnacionales que obviamente contienen los grandes capitales que mueven a nuestro país. Es importante hacer notar que si bien son transnacionales extranjeras, en realidad su fuerza de movimiento es netamente nacional. De lo anterior se deduce que las empresas realmente mexicanas con capital integral nacional son pocas aún cuando van creciendo rápidamente gracias a las inversiones que el público en general está generando.

Obviamente el resto de las empresas en México que no son transnacionales no son macroempresas, sino constituyen un grupo de empresas de mediano y pequeños capitales que generan fuerza y sostén al país con una tendencia de crecimiento al futuro.

## 2.2 SITUACION DE LA EMPRESA EN MEXICO

La Empresa comienza su representación como pequeño negocio y sucesivamente van ocurriendo una serie de transformaciones pasando por empresas colectivas hasta las grandes sociedades anónimas. Jurídicamente una empresa es un concepto de contenido económico mientras que desde un punto de vista industrial la empresa es una institución que guiada por la gerencia combina trabajo, materia prima, materiales de empaque, maquinaria y capital, para producir bienes que sean útiles al público consumidor y cuya venta produzca utilidad. Uniendo estos dos conceptos, desde un punto de vista económico la empresa industrial se traduce en un continuo cambio de valores económicos, así, en un momento cualquiera de la vida de una empresa se está comprando materia prima, se está efectuando la fabricación en los distintos pasos del proceso, se busca y otorga crédito, se está vendiendo, etc. por lo tanto la empresa está en un proceso dinámico de cambio de valores.

Los problemas referidos a la *investigación de operaciones* comienzan en el ciclo de cambio de valores de la empresa industrial, los cuales podemos clasificar en cuatro fases:

- ▣ A) CONVERSION POR FINANCIAMIENTO
- ▣ B) CONVERSION POR COMPRA
- ▣ C) CONVERSION POR MANUFACTURA
- ▣ D) CONVERSION POR DISTRIBUCION Y VENTA

La Conversión por Financiamiento consiste en conseguir dinero o crédito para iniciar o mantener un negocio. La empresa emite valores que

pueden ser acciones o bonos que compra el público. Las acciones pueden ser comunes y preferentes; las primeras no tienen derechos especiales y soportan el riesgo de la empresa, así como sus éxitos y sus fracasos, de esta forma, los poseedores de dichas acciones son los propietarios de la empresa; todos los ingresos que queden disponibles una vez que se hallan hecho los pagos a los acreedores pertenecen a las acciones comunes. Las acciones preferentes son aquellas que en caso de quiebra pueden tener preferencia sobre los activos, esto se hace con el fin de atraer a inversionistas que solicitan una devolución segura en caso de quiebra; en cuanto a los bonos, son valores garantizados por una hipoteca. Estos documentos demandan un interés fijo independientemente de que exista o no utilidad del ejercicio.

La Conversión por Compra consiste en el cambio del dinero por todos los bienes y servicios que van a hacer posible la fabricación, se debe cuidar que la operación sea económica.

Conversión por Manufactura es la fase donde los materiales, el equipo y los servicios se combinan para elaborar el producto, siendo el motor de la operación la dirección.

Aquí es también necesario cuidar que la operación sea económica, que el volumen de fabricación sea el adecuado, las operaciones de la mano de obra sean las requeridas empleando los procesos y los métodos más eficientes, que las ordenes fluyan en forma rápida y sencilla, en otras palabras, optimizar los recursos en todo momento.

Finalmente la Conversión por Distribución y Ventas en el cual el producto se convierte en documentos por cobrar o dinero en efectivo, entrando en ésta fase problemas de distribución y mercadotecnia.

En todo momento en la empresa, su tamaño es parte fundamental en el planteamiento de los problemas a resolver. Dependiendo del número de empleados, la cantidad de operaciones a realizar, el volumen cantidad de productos a producir, etc. está íntimamente ligado a una serie de factores que pueden ser constantes o variables. Intervienen, en cada caso diferente una frontera de posibilidades, la ley de los rendimientos decrecientes como también la de la oferta y la demanda hasta llegar a un equilibrio del mercado; el comportamiento del consumidor a una serie de variables como efecto de la reacción ante estímulos que la empresa misma promueve, e internamente, el manejo del capital dentro de la empresa misma como su división del trabajo. Un juego dinámico que promueve el crecimiento de la empresa, su desarrollo y evolución.

Al igual que en los Estados Unidos, sucede que en México la forma dominante de empresa es la de tipo pequeño, transitorio y de propiedad individual pero esto es atendiendo solo a su número ya que si nos fijamos en la potencialidad económica y política que generan, el importe de los empleos y nóminas que pagan, la realidad es que solo existen unos cuantos centenares de empresas gigantes o macroempresas las que ocupan una estratégica posición dominante en la moderna economía.

Las macroempresas se caracterizan por no ser empresas de nivel individual, esto es, que son la mayoría de ellas sociedades de diversa

naturaleza. Estas son las que con sus grandes capitales mueven la economía de una determinada rama y en algunos casos de varias ramas, como sucede por ejemplo con los laboratorios, las cadenas de tiendas de servicio, los almacenes, etc.

Es importante hacer notar que las macroempresas en México no son muchas y se reducen a determinadas áreas como el petróleo, la electricidad, la minería, la banca, etc.

Las empresas se clasifican en función del número de empleados y en su volumen de ventas, aunque también se pueden dividir de acuerdo a su capital; ya sea éste estatal, aquellas empresas que tienen capital mayoritariamente estatal; privadas, cuando las empresas tienen capital mayoritario de origen privado y nacional; y transnacionales, aquellas con capital mayoritario extranjero.

### **2.3 PERSPECTIVAS ECONOMICAS PARA 1992 AMENAZAS Y OPORTUNIDADES**

En México, la posición a la que se someten las empresas está íntimamente relacionada con las regulaciones internas del país.

Es increíble el alto índice de pequeñas empresas y microempresas que existen actualmente. Dichas empresas se desarrollan y desaparecen constantemente sin previo aviso, se trata de empresas de tipo familiar o de pocos asociados. Aunque estas empresas no generan un alto índice de salarios, si representan la fuente de más del 50 % de los empleos

existentes en el país. Por ésta razón, el gobierno ha decidido eliminar recientemente algunos de los impuestos y obligaciones antes existentes para la iniciación y desarrollo de las empresas. Se dan una amplia gama de incentivos fiscales en caso de colocar una empresa descentralizada lo cual hace más atractivo para algunos empresarios no solo el iniciar el proyecto sino el tener la alternativa de crecer y llegar a ser una empresa mediana o grande según sea el caso.

En la formulación de proyectos industriales se observa que el último paso en el desarrollo es la búsqueda de los recursos financieros; es necesario decir que en México un proyecto es evaluado por su rentabilidad más que por su función como proyecto. Esto a orillado a muchos emprendedores a tener una cultura diferente a la que se manejan en los países occidentales en donde si se utiliza en manejo de dinero más frecuentemente en la iniciación de un proyecto. En México es frecuente observar como un emprendedor gasta más de la mitad de su tiempo en poder obtener el capital inicial para luego invertirlo.

Por lo que se refiere a aquellas empresas pequeñas y medianas su tasa de crecimiento es relativamente lento debido a que no gustan de invertir a largo plazo por temor a un futuro incierto; los cambios en las regulaciones fiscales causan que las empresas pretendan en invertir solo en decisiones que acarreen utilidades inmediatas y con un bajo índice de riesgo. Solo aquellas grandes empresas han logrado tomar dichos riesgos.

La situación del país es variante, sin embargo se está presentando grandes cambios positivos rápidamente. Es increíble observar que varios



impuestos estan siendo disminuidos o bien retirados, mientras que algunas prestaciones para los trabajadores son otorgadas.

Existen cambios que de seguir así no habría la menor duda de una amplia modernización y crecimiento. Es definitivo de que se trata de un intento para aumentar el número de empresas de productos y de servicios así como de promover el crecimiento de las ya existentes dando muy buenas oportunidades que estan siendo aprovechadas. La posición de la empresa en México está cambiando por los cambios internos de la estructura del país, cambios que son generados por las experiencias pasadas y por la influencia de nuevos estímulos exteriores.

En estos momentos, la empresa mexicana está teniendo un cambio extremadamente rápido. Se trata de un alto número de influencias externas que se reflejan en el desarrollo de las mismas.

Los productos de las empresas mexicanas son recientemente bien vistas en el exterior, algunos productos superan en calidad a otros productos de diferentes países de origen. Aunque anteriormente no era así, se han presentado diversos estímulos que promueven el desarrollo de características importantes para la competencia exterior. El concepto de calidad es básico en nuestra situación debido al Tratado de Libre Comercio. La apertura de barreras económicas así como la introducción de nuevos productos hacen referencia a una sociedad que depende básicamente de sus gustos y preferencias y las cuales son manifestadas a través del mercado con el respaldo monetario de los gastos familiares.

Las empresas mexicanas están en un proceso de evolución drástico en la cual es necesario superarse rápidamente para poder competir con empresas extranjeras. Aunque en algunas áreas México está bastante bien, muchas otras, si no es que la mayoría, tienen la oportunidad de lograr un buen crecimiento, la modernización y la diversificación de sus productos. Hablamos de muchos planes estratégicos que permitan dichos objetivos; si bien es posible el crecer individualmente, se están sugiriendo varias soluciones alternativas que permitan fucionar a las empresas con giros similares y competir con las grandes empresas transnacionales que planean venir, o bien, el unirse con el capital extranjero en vez de estar contra él, de esta forma podrían crecer en lugar de desaparecer. Se trata de un muy buen momento para progresar. Una oportunidad que si se sabe aprovechar puede continuar así durante un largo período de tiempo. También es sabido, que la empresa que no tenga la habilidad y la visión para mejorar su situación actual, está destinada a desaparecer, sin embargo, los productos y servicios que se promovieran en un futuro se vislumbran de tipo superior, aumentando el nivel de vida de los mexicanos, promoviendo nuevas empresas como fuentes de trabajo y permitiendo el desarrollo a profesionistas del país. Un bloque económico que dará la oportunidad no solo de exportar mayor cantidad de productos de mejor calidad a un número mayor de países, sino de poder competir con otros bloques económicos a nivel mundial y teniendo la opción a crecer de manera secuencial.

La imagen que se promueve de la empresa mexicana a nivel Internacional es cada día superior, y con los cambios internos que se están presentando da una mejor gama de oportunidades a aprovechar siendo

un buen incentivo para la iniciativa privada, aumentando las tendencias de crecimiento y las probabilidades de éxito.

En primer lugar, es importante reconocer que, no obstante las dificultades que aún prevalecen, el país ha podido lograr un enorme avance en el control del fenómeno inflacionario. En 1991, los primeros diez meses del año la inflación apenas superó el 13 por ciento, contra una tasa de inflación de 1990 de casi el 24 por ciento. Es ya claro que al cierre de 1992 tendremos una inflación considerablemente inferior a la de 1990, por no hacer referencia a las muy elevadas tasas de inflación que teníamos hace algunos años. Esta reducción de la inflación en nuestro país se está dando sin que aparezcan circunstancias adversas en cuanto a desabasto de bienes básicos y distorsiones graves en los precios relativos. De hecho, en este año ha coexistido una reducción sustancial de la inflación con una mejora también sustancial, en los índices de abasto de la economía mexicana, al tiempo que quizá se reconoce que hoy en día las distorsiones de precios se ha reducido considerablemente.

Una segunda característica importante de la economía mexicana en este momento se refiere, por supuesto, al crecimiento económico. Por tercer año consecutivo nuestra economía está creciendo a tasas superiores a las de la dinámica demográfica. Se puede afirmar que el propósito de ir recuperando gradualmente, pero sostenidamente, el crecimiento económico se está logrando. En el cierre de 1991 el crecimiento del Producto Interno Bruto fue cercano al 4 por ciento. Este crecimiento ha tenido resultados favorables en lo que se refiere a nivel de empleo en la economía. Una comparación interesante radica en la deuda pública, que

de haber representado casi el 64 por ciento del Producto Interno Bruto en 1988, en 1991 esta deuda representó menos del 40 por ciento del PIB, en otras palabras, un poco más del 38 por ciento del Producto, lo cual es muy alentador y motiva a continuar en esta tendencia para 1992.

Otra característica importante de la economía tiene que ver con lo que ha sido su motor del nuevo crecimiento al que atiende. Claramente el motor del crecimiento ha sido el gasto privado y, de manera muy señalada, la inversión privada. El hecho de que el sector público haya tenido cada vez mejores resultados en sus finanzas significa un claro impacto moderador tanto en la demanda agregada como en el fenómeno inflacionario. Entoces es que debemos buscar el motor del crecimiento en el sector privado, particularmente en el comportamiento de la inversión privada. Aquí es importante precisar que ante las mejores perspectivas económicas que muestra México, y al causar ello una fuerte recuperación en el gasto privado, particularmente en el gasto de inversión, durante los últimos dos años y medio el gasto privado se ha expandido a una tasa superior a la del ingreso disponible en el propio sector privado. Esta diferencia entre gasto e ingreso privado ha dado como resultado el déficit en cuenta corriente que se registra a nuestra economía. Este exceso de gasto respecto a ingreso por fortuna ha traído consigo su propio financiamiento del exterior: financiamiento del exterior ya sea bajo la forma de inversión extranjera directa, bajo la forma de contratación de empréstitos externos, cosa que no sucedía hace muchos años en la economía mexicana, y forma de repatriación de capitales mexicanos anteriormente situados en el exterior. Esta situación que viene a revertir una circunstancia de transferencia neta de recursos al exterior vienen a

ser, precisamente, reflejo de las mejores perspectivas que tiene la economía mexicana, alentadora de nuevas decisiones de inversión, mismas que, en el plazo inmediato, en el plazo mediano y en el largo plazo, habrán de significar una mayor capacidad productiva para nuestra economía y, ciertamente, una mayor capacidad de exportación y de fortaleza en el sector externo de la propia economía. Además, hacia el inicio de 1992 se ha visto que el proceso general de modernización de la economía se ha ahondado sustancialmente mediante acciones de fomento industrial, de promoción comercial y de recuperación en general. Se está dando un gran estímulo a la competitividad de la economía del país. También es importante en este ámbito el avance que han tendido las autoridades mexicanas comerciales en materia de negociación y acuerdos internacionales que den un mejor acceso a los productos de exportación en los mercados mundiales. El avance se da en cuanto a modernización económica prácticamente en todos los ámbitos. Aun en aquellos en los que, de alguna manera, se consideraba que estaban pendientes las acciones importantes, se va ahora, hacia este año, que se están dando estos pasos. Otro hecho, también muy destacado, es el que continúe la concertación entre los distintos sectores productivos y el gobierno de la República. Hace poco fue renovado el Pacto para la Estabilidad y el Crecimiento Económico. Al hacerlo se ha dado un horizonte de certidumbre en lo que a decisiones económicas se refiere, y ciertamente eso favorecerá las decisiones de planeación e inversión de las empresas del país.

A la luz de las características mencionadas anteriormente y las cuales tuvieron campo de desarrollo durante el año de 1991, o bien, en el inicio

de 1992, se ha formulado la propuesta de política económica para el próximo año. Con base en lo alcanzado y partiendo de las condiciones objetivas de la economía mexicana, en 1992 la política económica tendrá los siguientes objetivos:

En primer lugar, está el alcanzar una tasa de inflación de un solo dígito, es decir, una tasa de inflación inferior al 10 por ciento, visto esto como la necesaria transición para lograr lo más pronto posible una tasa de inflación en nuestro país igual a la tasa de inflación que se tiene en los países de nuestros principales socios comerciales.

El segundo objetivo es consolidar, como se ha hecho hasta ahora, con gradualidad y prudencia, el crecimiento económico de nuestro país.

El tercer objetivo, muy importante, es seguir contribuyendo al mejoramiento del nivel de vida de los mexicanos, poniendo énfasis en ciertos aspectos que se consideran fundamentales como lo son la salud, la educación y el medio ambiente.

El cuarto objetivo es continuar con toda decisión y con todo cuidado, al mismo tiempo, el profundo proceso de modernización que está viviendo la economía mexicana.

En general podemos decir que llevando a cabo un método adecuado se verán cubiertos estos objetivos a la vez que se obtendrán resultados tales como: en 1992 la deuda pública total podrá ser cercana al 30 por ciento de Producto Interno Bruto; el gasto destinado a las áreas de salud,

educación, vivienda, ecología y Programa Nacional de Solidaridad, al igual que los años anteriores, tendrá incrementos; y debido a que la reforma jurídica no es suficiente, es importante buscar la aplicación de otros instrumentos que nos lleven a la recuperación y reactivación económica del campo mexicano así como se seguirán explorando nuevos mecanismos para que el sector privado participe en la construcción de la necesaria infraestructura del país. Se espera por lo tanto, que antes que todo, se consolide el crecimiento económico en un contexto de inflación decreciente. Se está previendo que la economía nacional vuelva a crecer alrededor del 4 por ciento, y se está previendo también que se logre alcanzar una tasa de inflación inferior al 10 por ciento; pero que de hecho, a fines de 1992, sitúe ya una inflación equiparable a la de nuestros principales socios económicos. Como en los años anteriores, previsiblemente será el gasto privado, y particularmente el de inversión, el que se constituya en motor del crecimiento. Es posible que el gasto privado continuará excediendo su ingreso disponible y este exceso de gasto sobre ingreso continuará siendo financiado sanamente con recursos provenientes del exterior. Se confirmará la tendencia a revertir el fenómeno de salida de recursos de la economía nacional. Todo lo anterior nos sitúa en un escenario, nos muestra el comportamiento de la economía de nuestro país en años pasados y sus tendencias, economía que vivimos a diario y que es factor principal en la toma de decisiones de cualquier empresa, no importando el giro al que se dedique. Una sabia observación de nuestras perspectivas para el año en curso traerá como consecuencia el conocimiento oportuno de la información necesaria para el comportamiento de las variables que interactúan en nuestro modelo a demostrar del problema de esta tesis. Sin un marco de referencia

preliminar estaríamos olvidando la importancia del entorno que nos rodea y que representa una gran variedad de factores a considerar.



## **CAPITULO III**

---

### **PROYECCION DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS PRACTICOS EN LAS EMPRESAS**

#### **3.1 TEORIA DE LAS PROBABILIDADES**

Una de las partes vitales en las empresas para la toma de decisiones es la teoría de las probabilidades. Esta teoría nos ayuda a identificar variables y a cuantificarlas de alguna manera racional en la cual se puedan desarrollar los diferentes estados de la naturaleza así como las estrategias a seguir.

En la toma de decisiones, no solo intervendrán los diferentes modelos a seguir; en muchas ocasiones estos modelos no están bien enfocados para un determinado tipo de empresas por lo que una mala decisión ocasionaría que una empresa pequeña o mediana tuviera serios problemas económicos. Las decisiones obtenidas por los diversos métodos matemáticos deberán ser cuestionadas por el creador de decisiones evaluándolas también por el tamaño de la empresa, los objetivos y políticas de la compañía, sus propios sentimientos, la

probabilidad de los datos históricos o cualquiera otra base racional. De esta forma, podemos identificar tres condiciones claves en la toma de decisiones:

- ▣ 1. CONDICIONES DE CERTIDUMBRE
- ▣ 2. CONDICIONES DE RIESGO
- ▣ 3. CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE
  - 3.1 CRITERIO DE HURWICZ
  - 3.2 CRITERIO DE WALD
  - 3.3 CRITERIO DE SAVAGE
  - 3.4 CRITERIO DE LAPLACE

Todos estas condiciones y criterios se basan en la construcción de un arreglo matricial, o sea, un conjunto bidimensional de cifras ordenadas en renglones y columnas, en donde cada renglón representa una estrategia disponible y cada columna representa el estado de la naturaleza.

Llamamos estrategia disponible a un conjunto de pasos a seguir que nos permitan llegar a nuestros objetivos finales; estas estrategias pueden ir de una política más agresiva en la que se presentan mejores resultados pero se tiene un alto grado de riesgo, a unas políticas más conservadoras, en las cuales no se arriesgan tanto los activos de la empresa pero se tiene resultados menos favorables. Esta relación se une con las columnas de naturaleza que son situaciones que se presentan en nuestro proyecto, así, los estados de la naturaleza pueden ser favorables o poco favorables según la situación. La solución que se desea obtener se verá afectada por estas dos propuestas actuando simultáneamente. La anotación que se

encuentra en la intersección de cada renglón y columna es el pago, o la medida de la utilidad del resultado específico que se obtienen para cada estrategia y para cada estado de la naturaleza. Nuestra matriz de pagos deberá contener todos los resultados posibles de un problema de negocios y por lo tanto la solución será aquella que nos proporcione mejores resultados una vez evaluando riesgos contra las utilidades.

### 1. CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE CERTIDUMBRE

En este caso se acostumbran colocar a manera de renglones las estrategias y en las columnas los estados de la naturaleza y por lo tanto, se asume que sólo una condición se va a llevar a cabo, dicha condición queda bien definida en nuestro arreglo matricial como la intersección del renglón  $i$ -ésimo con la columna  $j$ -ésima. En estos tipo de problemas conocemos con perfecta seguridad las utilidades que se presentarán al resolver simultáneamente estas dos condiciones. La solución tan solo será el escoger el renglón que presente la localidad con la utilidad máxima.

Ejemplo:

Este método es sumamente práctico y es la base de la resolución de los demás criterios y condiciones. En *investigación de operaciones* es

		ESTADOS DE LA NATURALEZA		
		$N_1$	$N_2$	$N_3$
ESTRATEGIAS	$S_1$	100	200	300
	$S_2$	400	500	600
	$S_3$	700	800	0

necesario determinar los límites del problema ya que un sistema de resolución puede ser excesivamente complejo y la exactitud de la solución variaría en muy poca escala, sin embargo, algunos modelos deben de ser lo suficientemente extensos para poder interpretar el problema en la realidad. El criterio de decisión sobre condiciones de certidumbre se enfrenta a un gigantesco número de condiciones que harían imposible su resolución cuando se trata de unir problemas diferentes en una misma situación, ejemplo de esto es el problema a resolver de esta tesis, el cual necesita de un modelo computarizado que permita la rápida toma de decisiones en la cantidad de remaches a producir del tipo enésimo realizado por una máquina específica; esto es un proceso de manufactura del análisis de cada una de las máquinas, lo cual de antemano sabemos, se tratan de análisis independientes. La *investigación de operaciones* cuenta con otros métodos para solventar estos obstáculos.

## **2. CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE RIESGO**

En éste caso nuestra matriz de pagos o utilidades queda sujeta a una probabilidad de ocurrencia en los estados de la naturaleza los cuales son perfectamente definibles.

La solución a nuestro problema consiste en construir dicha matriz y multiplicarla por un vector de probabilidades. Es importante señalar que en esta situación si tenemos un parámetro para determinar la probabilidad asociada a nuestro evento, dicha probabilidad bien puede estar

determinada por nuestros antecedentes históricos basadas en experiencias pasadas.

De esta forma tenemos:

ESTADOS DE LA NATURALEZA				
		N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
PROBABILIDAD		0.3	0.3	0.4
	S <sub>1</sub>	100	200	300
ESTRATEGIAS	S <sub>2</sub>	400	500	600
	S <sub>3</sub>	700	800	0

Acomodando adecuadamente nuestro sistema como un arreglo matricial, y, siguiendo las leyes del algebra lineal, tenemos entonces las siguientes soluciones:

$$ES_1 = a_{11}p_1 + a_{12}p_2 + a_{13}p_3 + \dots + a_{1j}p_j$$

$$ES_2 = a_{21}p_1 + a_{22}p_2 + a_{23}p_3 + \dots + a_{2j}p_j$$

$$ES_3 = a_{31}p_1 + a_{32}p_2 + a_{33}p_3 + \dots + a_{3j}p_j$$

$$ES_4 = a_{41}p_1 + a_{42}p_2 + a_{43}p_3 + \dots + a_{4j}p_j$$

$$\dots = \dots + \dots + \dots + \dots + \dots$$

$$\dots = \dots + \dots + \dots + \dots + \dots$$

$$\dots = \dots + \dots + \dots + \dots + \dots$$

$$ES_i = a_{i1}p_1 + a_{i2}p_2 + a_{i3}p_3 + \dots + a_{ij}p_j$$

donde:

$$p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_j = 1$$

ES = Estrategia

p = Probabilidad de ocurrencia asociada.

Finalmente tomamos como decisión la opción renglón que presente mayor utilidad después de haber hecho las operaciones algebraicas. En este punto de riesgo, es necesario establecer que es frecuente el tomar una decisión que no es la máxima utilidad porque entendemos que a veces es necesario sacrificar un poco de utilidades para tener un menor margen de riesgo; por lo general este incremento de utilidades es muy bien recompensado con el decremento de riesgo.

### 3. CRITERIOS DE DECISION EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

En este caso desconocemos las probabilidades que se presentan en los estados de la naturaleza. Existen cuatro criterios de decisión dentro de este mismo apartado. Cada uno de ellos tiene diferentes puntos de vista que justifican sus resultados, sin embargo, ninguno de ellos presenta una solución absoluta; cada punto de vista es diferente de los demás y se deben de interpretar con cuidado ya que de lo contrario podría caerse en un error que en empresas grandes o medianas podría ser absorbido con las utilidades que dejara algún otro producto, mientras que en una empresa pequeña en la que todos sus activos los tiene concentrados en puntos bien específicos causaría graves problemas.

### 3.1 CRITERIO DE HURWICZ

El criterio de decisión de Hurwicz es de tipo optimista, sugiere que la naturaleza nos presta oportunidades favorables o afortunadas. En este criterio se escoge el mayor de las máximas utilidades para cada estrategia. Debido a lo anterior, a este criterio se le llama maximax. De esta forma, una vez construida nuestra matriz pagos-utilidades se revisa renglón por renglón y se obtienen los máximos valores, una vez hecho esto, se determina que estrategia presenta la máxima utilidad y esa es la que hay que llevar a cabo. Hurwicz también propone en su modelo el introducir probabilidades de ocurrencia al máximo y mínimo valor por estrategia, así, se tiene un nivel aceptable de que ocurra el éxito o de que se acepte la pérdida; aún así el método arroja el mismo resultado que si no se consideraran los porcentajes y por lo tanto no es necesario llevar a cabo estas operaciones.

La utilización total de este método para todos los programas de las empresas de tamaño mediano o grande podría dar por resultado pérdidas considerables, como en el caso de la empresa pequeña por lo que es necesario utilizarlo con muy buen criterio.

### 3.2 CRITERIO DE WALD

El criterio de decisión Wald es el opuesto del de Hurwicz; Wald sugiere que la toma de decisiones debe estar basada en la malevolencia de la naturaleza y por ello a este método se le conoce como maximin. En este caso se procede a separar la pérdida más agravante de nuestro sistema por renglón estrategia, se construye una nueva matriz y se identifica cual

es la utilidad mínima a recibir. Debido a esto, este sistema es muy adecuado para las empresas pequeñas. Este enfoque conservador promueve una utilidad segura y cierta permitiendo que la empresa sobreviva.

### **3.3 CRITERIO DE SAVAGE**

Savage, en su criterio de decisión, construye una matriz de arrepentimiento mediante la resta de la máxima cantidad a recibir menos la que en realidad se recibe. Se trata de la resta del máximo valor en columna con cada una de las localidades de esa misma columna; a este método se le conoce como minimax en la cual nosotros como creadores de decisiones escogemos aquella en la que se diera el mínimo arrepentimiento. Así una vez hecha la resta de estas columnas se forma una nueva matriz con los resultados obtenidos, se señala el máximo valor de cada uno de los renglones y finalmente se escoge la estrategia que presente el mínimo arrepentimiento. Este criterio es bien visto para programas individuales a largo plazo, a fin de aminorar los arrepentimientos para el promedio de esos programas.

### **3.4 CRITERIO DE LAPLACE**

Finalmente, el criterio de decisión de Laplace atribuye a cada suceso el mismo porcentaje de probabilidad de ocurrencia. Estas ideas están basadas en el principio de razón insuficiente que dice que si no hay razón para que ocurra algo, esto no ocurrirá. Dicho principio cuando se le asignan probabilidades se le conoce con el nombre de Teorema de Bayes



en la cual si no conocemos alguna razón para que las probabilidades sean diferentes, deberemos considerar que son iguales. En este caso, a la matriz utilidades se le multiplica por la probabilidad de ocurrencia formada por el número de estados de la naturaleza que existan. Vectorialmente hablando, se trata de la multiplicación de un escalar con una matriz, debido a que la probabilidad será la misma para todo el sistema, una vez hecho esto, se procede a identificar el máximo valor de utilidades disponible. El criterio de Laplace se aplica mejor a las empresas que no son pequeñas. El criterio de Laplace es el único que no expresa actitud alguna a excepción del deseo de ser racional.

A partir de este punto definiré los conceptos de probabilidades subjetivas y objetivas: Las primeras se refieren a aquellas que si bien no se han obtenido mediante un análisis de tendencias en una revisión minuciosa de estadísticas, son conjeturas muy bien formadas que se basan en la experiencia ordinaria; las segundas están fundamentadas en datos históricos, que si bien tienen que pasar por una revisión profunda, que incluya el buen criterio y la intuición. Siempre que sea posible será preferible utilizar las probabilidades objetivas que las subjetivas.

Para poder continuar con mi investigación presento definiciones clásicas de la probabilidad que nos permitirán estar en contacto con los términos utilizados en la *investigación de operaciones*. Dentro de estos conceptos menciono la diferencia existente entre la probabilidad incondicional y la condicional. La probabilidad incondicional es aquella que al efectuarse un suceso, el suceso inmediato posterior no queda influenciado por su antecesor, es decir, son eventos independientes uno

del otro, caso contrario en la probabilidad condicional. Cuando los eventos se excluyen mutuamente significa que solo ocurre uno a la vez y si decimos que son colectivamente exhaustivos estamos refiriéndonos a una forma de especificar todos los elementos que constituyen el conjunto solución de la realización de un evento. Así, utilizando estos conceptos vemos que existen:

▣ 1. PROBABILIDADES MARGINALES

Aquellas en la que se define la probabilidad de ocurrencia de un evento.

▣ 2. PROBABILIDADES CONJUNTAS

Cuando deseamos saber la probabilidad de que dos eventos sucedan simultáneamente o sucesivamente.

▣ 3. PROBABILIDADES CONDICIONALES

Aquellas que quedan influenciadas por la realización de un evento anterior a estas.

La dependencia e independencia estadística juegan con estos tres conceptos provocando un conjunto de combinaciones predecibles. Los modelos matemáticos de resolución a los problemas que se presentan quedan definidos:

TIPO DE PROBABILIDAD	SIMBOLO	FORMULA EN CONDICIONES DE INDEPENDENCIA ESTADISTICA	FORMULA EN CONDICIONES DE DEPENDENCIA ESTADISTICA
MARGINAL	$P(A)$	$P(A)$	$P(A)$
CONJUNTA	$P(AB)$	$P(A)*P(B)$	$P(A/B)*P(B)$
CONDICIONAL	$P(A/B)$	$P(A)$	$P(AB)/P(B)$

La explicación de estas fórmulas radica principalmente en observar el significado de cada uno de los símbolos y poner mucha atención en las condiciones de dependencia o independencia estadística, de esta forma tenemos que cuando se habla de probabilidad marginal nos estamos refiriendo a la probabilidad de que suceda un evento únicamente, o sea la probabilidad de un evento solamente, no importa si se trata de eventos independientes o dependientes; de aquí observamos que las probabilidades marginales en ambas columnas es la misma.

Al hablar de probabilidad conjunta nos referimos a la probabilidad de que suceda el evento A y el evento B simultáneamente o sucesivamente; en el caso de eventos independientes la solución será multiplicar las probabilidades individuales para ambos casos, sin embargo, en dependencia estadística la probabilidad conjunta de los eventos A y B es igual a la probabilidad del evento A, siempre que haya ocurrido el evento B, multiplicada por la probabilidad del evento B. Esto se refleja con mayor claridad en un diagrama de árbol.

Finalmente, vemos que la probabilidad de que ocurra el evento A siempre y cuando se haya realizado el evento B no es mas que una aplicación matemática en donde se dividen probabilidades. En el caso de independencia estadística el resultado resulta obvio debido a que un evento no está sujeto a la aparición del otro.

Enfatizo en estos apartados que la suma de las probabilidades necesariamente deberán de ser igual a 1, o sea, el 100 %.

### 3.2 INCERTIDUMBRE

En la toma de decisiones es muy frecuente el encontrar condiciones que son prácticamente imposibles de conocer con certeza; en el caso de una empresa, las variables son las utilidades, los costos, las cantidad de demanda esperada o bien las ventas anuales.

Existen diversos métodos que nos ayudan a encontrar la solución a estos problemas; algunos planteamientos matemáticos dan con absoluta certeza la solución de nuestro problema con o sin incertidumbre; otros por el contrario, se refieren al problema con un índice de confiabilidad según sea el caso. Para el efecto destaco en este apartado tres métodos para la solución de incertidumbre:

- ▣ 1. DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DISCRETA
  - 1.1 Tabla de Ganancias Condicionales
  - 1.2 Tabla de Pérdidas Condicionales
- ▣ 2. ANALISIS MARGINAL
- ▣ 3. DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONTINUA

## **DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DISCRETA**

En este inciso comento que la probabilidad discreta se refiere a aquellos sucesos que pasan enteramente, no estamos hablando de etapas analógicas ni de sucesos fraccionarios, nos referimos a eventos que simplemente suceden o no, se van sumando en forma de enteros y representan las variables antes mencionadas.

Para cuantificar estas variables se procede a realizar tablas de ganancias o pérdidas condicionales. Dichas tablas involucran el costo de oportunidad por no tener en inventario el producto que se nos solicita y también involucra el costo de desuso, en el caso de que el producto quede almacenado sin que nadie lo requiera, aquí interviene el valor de recuperación que amortigua este último costo. De esta forma, se acostumbra colocar en las columnas el número posible de inventarios sucesivamente; mientras que en las columnas se coloca la demanda posible.

Matemáticamente el modelo quedaría:

TABLA DE GANANCIAS CONDICIONALES

DEMANDA	POSIBLE INVENTARIO							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	...	A <sub>m</sub>
A1	G <sub>11</sub>	G <sub>12</sub>	G <sub>13</sub>	G <sub>14</sub>	G <sub>15</sub>	G <sub>16</sub>	...	G <sub>1m</sub>
A2	G <sub>21</sub>	G <sub>22</sub>	G <sub>23</sub>	G <sub>24</sub>	G <sub>25</sub>	G <sub>26</sub>	...	G <sub>2m</sub>
A3	G <sub>31</sub>	G <sub>32</sub>	G <sub>33</sub>	G <sub>34</sub>	G <sub>35</sub>	G <sub>36</sub>	...	G <sub>3m</sub>
A4	G <sub>41</sub>	G <sub>42</sub>	G <sub>43</sub>	G <sub>44</sub>	G <sub>45</sub>	G <sub>46</sub>	...	G <sub>4m</sub>
A5	G <sub>51</sub>	G <sub>52</sub>	G <sub>53</sub>	G <sub>54</sub>	G <sub>55</sub>	G <sub>56</sub>	...	G <sub>5m</sub>
A6	G <sub>61</sub>	G <sub>62</sub>	G <sub>63</sub>	G <sub>64</sub>	G <sub>65</sub>	G <sub>66</sub>	...	G <sub>6m</sub>
A <sub>m</sub>	G <sub>m1</sub>	G <sub>m2</sub>	G <sub>m3</sub>	G <sub>m4</sub>	G <sub>m5</sub>	G <sub>m6</sub>	...	G <sub>mm</sub>

TABLA DE PERDIDAS CONDICIONALES

DEMANDA	POSIBLE INVENTARIO							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	...	A <sub>m</sub>
A1	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	...	P <sub>1m</sub>
A2	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	...	P <sub>2m</sub>
A3	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>	...	P <sub>3m</sub>
A4	P <sub>41</sub>	P <sub>42</sub>	P <sub>43</sub>	P <sub>44</sub>	P <sub>45</sub>	P <sub>46</sub>	...	P <sub>4m</sub>
A5	P <sub>51</sub>	P <sub>52</sub>	P <sub>53</sub>	P <sub>54</sub>	P <sub>55</sub>	P <sub>56</sub>	...	P <sub>5m</sub>
A6	P <sub>61</sub>	P <sub>62</sub>	P <sub>63</sub>	P <sub>64</sub>	P <sub>65</sub>	P <sub>66</sub>	...	P <sub>6m</sub>
A <sub>m</sub>	P <sub>m1</sub>	P <sub>m2</sub>	P <sub>m3</sub>	P <sub>m4</sub>	P <sub>m5</sub>	P <sub>m6</sub>	...	P <sub>mm</sub>

Donde:

- A = Producto demandado o en existencia.
- G = Ganancias condicionales del producto
- P = Pérdidas condicionales del producto.
- C.O. = Costo de Oportunidad
- C.D. = Costo de Desuso
- U.R. = Utilidad de recuperación
- m = Región correspondiente
- n = Columna correspondiente

### Observaciones sobre la matriz de ganancias condicionales

- ▣ 1. Se trata de una matriz cuadrada de  $m \times m$ .
  
- ▣ 2. Existe una diagonal formada por los elementos  $G_{ij}$ , donde  $i = j$ , los cuales representan que el número de productos que tenemos en existencia es igual al número de productos que se nos demanda. Por lo tanto, en esa diagonal no existen pérdidas por oportunidad ni por desuso. Esta diagonal se le llama diagonal principal.
  
- ▣ 3. Todas las ganancias del lado izquierdo de la diagonal principal son aquellas obtenidas después de haber restado el costo de oportunidad por no tener el producto en existencia.

$$G_{ij} = G_{mm} - C.O.$$

Siempre y cuando  $j$  sea menor o igual a  $i$



- ▣ 4. *Todas las ganancias del lado derecho de la diagonal principal son aquellas obtenidas después de haber restado el costo de desuso del producto en existencia más la utilidad de recuperación.*

$$G_{ij} = G_{mm} - C.D. + U.R.$$

*Siempre y cuando  $j$  sea mayor o igual a  $i$*

#### **Observaciones sobre las pérdidas condicionales**

- ▣ 1. *Se trata de una matriz cuadrada de  $m \times m$ .*
- ▣ 2. *Existe una diagonal formada por los elementos  $P_{ij}$ , donde  $i = j$ , los cuales representan que el número de productos que tenemos en existencia es igual al número de productos que se nos demanda. Por lo tanto, en esa diagonal no existen pérdidas por oportunidad ni por desuso. Esta diagonal se le llama diagonal principal.*
- ▣ 3. *Todas las pérdidas del lado izquierdo de la diagonal principal son aquellas obtenidas después de haber restado el costo de oportunidad por no tener el producto en existencia.*

$$P_{ij} = C.O.(i-j)$$

*Siempre y cuando  $j$  sea menor o igual a  $i$ .*

- ▣ 4. *Todas las pérdidas del lado derecho de la diagonal principal son aquellas obtenidas después de haber restado el costo de desuso del producto en existencia más la utilidad de recuperación*

$$P_{ij} = (V.R.-C.D) (j-i)$$

Siempre y cuando  $j$  sea mayor o igual a  $i$

Una vez obtenida las tablas de pérdidas o ganancias condicionales se procede a multiplicar cada columna por la probabilidad de ocurrencia del evento y se obtiene la ganancia o pérdida esperada con la sumatoria de dichas cantidades por columna; finalmente se escoge, según sea el caso, el valor máximo en caso de ganancia o el valor mínimo en pérdidas.

Este método presenta la problemática de que se deben de realizar una gran cantidad de cálculos aritméticos, lo cual provoca una tarea larga y factible de errores, para ello se diseñó el Análisis Marginal en la cual la ganancia marginal esperada debe ser mayor que la pérdida marginal esperada producida por tener en existencia esa unidad.

Definiendo las siguientes fórmulas:

$$p(MP) = (1-p)(ML)$$

$$p(MP) = ML - p(ML)$$

$$p(MP) + p(ML) = ML$$

$$p(MP + ML) = ML$$

$$p = (ML) / (MP + ML)$$

Donde:

$p$  = Probabilidad de que se venda una unidad.

$1-p$  = Probabilidad de que no se venda una unidad.

MP = Ganancia marginal por vender una unidad más.

ML = Pérdida marginal por vender una unidad más.

Se obtiene la probabilidad  $p$ , se construye un programa acumulativo de probabilidad de distribución, y finalmente se escoge el valor que sea mayor o igual a nuestra probabilidad de que se venda una unidad más.

Estos tres métodos quedan condicionados a que sólo existen valores discretos, sin embargo, en la mayoría de los casos se tienen un conjunto de datos que no se limitan a unos valores determinados; en este caso se aplica la distribución de probabilidad continua, en la cual se grafican los valores, se obtiene una distribución normal, se saca la media que es la sumatoria de todos los valores entre el número, se aplica la fórmula de desviación standard y se procede a graficar el porcentaje obtenido ( $p$ ) de probabilidad de que si se venda una unidad de más, se tiene en cuenta de que a nosotros nos interesa que el valor del área bajo la curva medido del extremo izquierdo hasta el valor frontera  $p$  sea mayor o igual a éste, así entramos a tablas y obtendremos el valor  $A$ . Finalmente el resultado será la media más el valor  $A$  multiplicada por sigma.

Menciono que en algunos casos los datos de los negocios pueden distribuirse de forma diferente a la campana (normal), y se tiene que aplicar otros métodos diferentes de la *investigación de operaciones*.

### 3.3 OPTIMIZACION

En la *investigación de operaciones* existen diversos problemas que por su construcción resulta muy conveniente el utilizar procesos de altas matemáticas. Diferenciación, Integración, multiplicadores de Lagrange y derivadas parciales son algunos métodos empleados para la resolución de nuestros modelos.

En general, el problema consta de obtener la mejor solución de un conjunto de soluciones las cuales representan el precio óptimo de venta, el costo mínimo de producción, etc.

#### 1. DIFERENCIACION

Existen diversos métodos de diferenciación en los cuales destacan el criterio de la primera y la segunda derivada. El problema radica en encontrar una función objetivo, conocer sus restricciones y emplear la diferenciación.

En la primera derivada se obtienen los valores críticos una vez igualando a cero y posteriormente se evalúa un poco antes y un poco después. Si la pendiente varía de menos a más se trata de un mínimo, si la pendiente varía de mas a menos se trata de un máximo.

En el segundo criterio se encuentra el valor crítico a partir de la primera derivada y se sustituye en la segunda derivada, si el resultado es positivo se trata de un mínimo, si es negativo, se trata de un máximo, si el resultado

fuera cero, no se puede concluir nada y resolveríamos el problema por el primer criterio. En estos problemas se debe de construir nuestra función objetivo aplicando las reglas de geometría analítica, regresión lineal, etc., sin embargo, una clave radica en recordar que las utilidades serán siempre igual a la resta de los ingresos menos los costos y los gastos.

## 2. INTEGRACION

Es la operación contraria de la diferenciación y radica en encontrar el área bajo la curva. En estos problemas vemos que la tendencia de la curva a analizar no se comporta linealmente por lo regular, por lo que hay que emplear la integración como método de resolución exacto. En la integración de cualquier problema se definen dos estados: cuando conocemos perfectamente los límites de nuestro problema y evaluamos con ellos nuestra integral y cuando simplemente queremos una función generalizada de nuestro problema; a la primera parte se le conoce como integral definida y a la segunda como integral indefinida. Toda integral indefinida debe llevar una constante esencial arbitraria  $C$ .

## 3. DERIVADAS PARCIALES

El método consiste en estudiar una función haciendo variar únicamente una variable, dejando a las demás como constante. La variación de cambio se detectará individualmente y podemos encontrar cual de las variables es la que está influenciando más en nuestro planteamiento, cual es la variación de cambio unitaria y cual sería la solución de cualquier cambio en las condiciones del problema. Decimos entonces que las derivadas parciales son medidas de la variación en el cambio.

Aquí es necesario comentar que durante la elaboración de la tesis se realizó un caso previo en el cual se unían más de dos variables en la resolución de un problema para calcular el nivel óptimo de inventarios de una empresa que deseaba fusionarse con otra. El resultado del problema, aunque otorgaba datos bien calculados, no esquematizaban la realidad de la empresa; en otras palabras, se había resuelto un problema utilizando altas matemáticas pero que la solución de antemano era obvia, factible de deducir sin necesidad de utilizar tanto tiempo en la resolución del problema. De hecho, se pudo haber evitado tal trabajo con la simple observación de los datos que permitían deducir que lo único que se debía de hacer era considerar a la empresa interesada como otro cliente que tan solo pedía un pedido. Este ejercicio demostró claramente que debe de existir una relación muy fuerte entre la realidad y la abstracción de las matemáticas, que aunque demuestran su utilidad y eficacia, se debe de dar importancia a aquellos aspectos que no son obvios o factibles de resolver fácilmente. Este es el motivo fundamental de la elaboración de esta tesis considerando un problema real de una empresa que necesita conocer sus rangos de producción en cada una de sus máquinas instantáneamente. El resolver esta cuestión ayudará a la empresa el estarse manejando siempre sobre el punto óptimo de producción que se reflejará en sus márgenes de ingresos.

#### **4. MULTIPLICADORES DE LAGRANGE**

Un problema de considerable importancia para aplicaciones prácticas es la de hacer máxima o mínima una función de variables múltiples, donde las variables están relacionadas entre sí por una o más ecuaciones que

se llaman "restricciones". Para el efecto se pueden eliminar, si es factible, algunas de las variables usando las restricciones y, eventualmente, reducir el problema a uno ordinario de "máximos y/o mínimos".

Este procedimiento no siempre es aplicable y con frecuencia es más conveniente el utilizar el método de los "multiplicadores de lagrange" el cual es aplicable para funciones con "n" variables independientes y sujetas a "m" restricciones donde "m" no necesariamente igual a "n".

Es un método de resolución de problemas aplicando los conceptos de diferenciación en el cual se arma un sistema de ecuaciones diferenciables y el cual presenta un vector lambda.

Este método es aplicado por la simplicidad en la introducción de cualquier número de restricciones a nuestro problema. En nuestros problemas y métodos de resolución menciono que una vez obtenido el valor crítico, y conociendo su naturaleza al determinar si se trata de un máximo o de un mínimo, los valores son sustituidos en nuestras ecuaciones originales o primitivas, las cuales concliran en resultados tales como el costo total mínimo, la utilidad total máxima, la demanda total esperada, las ventas totales óptimas, mantenimiento de equipo, etc.

Joseph Louis de Lagrange fue astrónomo y matemático franco- Italiano (nació en Turín, Piamonte en 1736 y murió en París, Francia, en 1813). Sus trabajos de mecánica y astronomía tienen un gran valor. Aplicó el cálculo de variaciones resolviendo un gran número de problemas. En astronomía, atacó el problema general que Newton sólo dejó planteado, analizando la ley de gravitación para más de dos cuerpos. En 1793 se le encargó dirigir

una comisión que estudiará un nuevo sistema de pesas y medidas. De las deliberaciones de tal comisión apareció el Sistema Métrico Decimal.

### 3.4 ANALISIS INSUMO- PRODUCTO

Al inicio del desarrollo de la *investigación de operaciones*, surgió la necesidad de controlar la demanda final de determinados productos. El trabajo fue presentado por Leontief (ganador del premio Nobel en 1973) en un estudio de economía de Estados Unidos.

El objetivo del modelo era el de predecir los niveles de producción futuros de cada industria para poder cumplir con las demandas futuras para diversos productos. El fundamento de este modelo radica en que todas las industrias que presentan insumos o productos iguales están estrechamente relacionados entre sí; una variación de una de ellas intervendrá en las ventas de la otra compañía y así sucesivamente. El único requisito que se solicita es que todo lo que se produce se consume.

Para poder plantear el modelo matemático de Leontief iniciaré definiendo el concepto de insumo:

*"Todo producto procesable necesario para crear otro producto diferente".*

De esta forma identificamos que va a existir una producción total capaz de realizar una fábrica determinada; dentro de esa producción observamos que ésta misma fábrica necesita cierta cantidad del producto para crear otros productos (insumo), además provee a otras fábricas que crean otros productos con su insumo y finalmente puede llegar a vender



su Insumo como un producto al cliente en general. A este último aspecto le llamamos demandas finales. Iterativamente, se repite el proceso con las demás fábricas y se acomodan ordenadamente obteniendo un sistema de ecuaciones las cuales se comportan matemáticamente como una matriz. Finalmente se puede extraer un modelo matricial que arrojará la llamada Ecuación Insumo-Producto resolviendola de la siguiente forma:

$$X = AX + D$$

donde:

**X** = Matriz de Producción.

**A** = Matriz Insumo-Producto.

**D** = Matriz de Demanda.

Resolviendo:

$$X = AX + D$$

$$X - AX = D$$

$$I \cdot X - AX = D$$

$$(I-A)X = D$$

$$(I-A)^{-1}(I-A)X = (I-A)^{-1}(I-A)D$$

$$X = (I-A)^{-1}(I-A)D$$

Que significa que la matriz demanda se va a multiplicar por la inversa de la diferencia de la matriz identidad con la matriz Insumo producto, obteniendo los niveles de producción en la matriz X de producción.

### 3.5 PROGRAMACION LINEAL

Esta es la herramienta base utilizada en la resolución del problema presentado por REMHER, Remaches y Herramientas, S.A. de C.V. y el cual se desarrolla a lo largo de todo el capítulo V.

Al hablar de programación lineal nos sugiere a la mente la idea de soluciones donde actúan ecuaciones lineales conjuntamente, y en efecto, se trata de resolver un sistema de ecuaciones y de desigualdades en la cual todas ellas presentan como frontera o como ecuación a una línea recta.

La programación lineal tiene por método el encontrar una función objetivo; esta función objetivo pueden ser utilidades cuando se trata de maximizar o bien, pueden ser costos, si queremos minimizar. Una vez que se ha definido la función objetivo  $[Z]$ , definimos las restricciones, las cuales no son más que desigualdades que señalan regiones solución, la región intersección de todas estas regiones darán la zona de solución a nuestro problema. Dentro de las restricciones es necesario comentar que existen dos de ellas muy importantes las cuales sirven para completar el sistema y son las de  $x$  mayor o igual a cero, y menor o igual a cero, al efectuar dichas restricciones automáticamente estamos encasillando nuestro problema en el primer cuadrante de nuestro plano cartesiano; la razón resulta obvia, se trata de definir que no existen valores negativos en el eje de las  $x$ 's, ni en el eje de las  $y$ 's. Una vez identificadas nuestras restricciones continuamos con nuestro análisis al involucrar nuestra función objetivo, nuestra ecuación objetivo se le llama entonces línea de utilidad constante o curva de indiferencia en donde sabemos que la  $Z$

objetivo a maximizar o minimizar deberá tocar cuando menos uno de los valores de la región solución para poderla considerar como parte del sistema y desplazando esta recta por cualquier zona de nuestra región nos damos cuenta que siempre será en los vértices de nuestro polígono región donde encontramos los puntos máximos o mínimos según el caso, recordamos que se trata de una recta y que por lo tanto el valor de intersección con el eje de las  $y$  y variará aumentando o disminuyendo pero la pendiente de la recta siempre será la misma, de ahí el nombre de curva de indiferencia. El problema se simplifica a encontrar los puntos de intersección de nuestras regiones para después sustituir nuestras coordenadas  $(x, y)$  en la  $Z$  objetiva y así encontrar la solución adecuada.

Este método es un método analítico que cuando presenta solo dos o tres variables es posible representar gráficamente pero que cuando son más de tres ya no tiene representación geométrica pero si matemática. Como el sistema es repetitivamente iterativo es posible programarlo, para lo cual se cuenta un método llamado Simplex el cual convierte las desigualdades en ecuaciones agregando variables de holgura y resolviendo finalmente en forma matricial.

En cuanto a la programación no lineal vemos que los problemas de resolución son mucho más difíciles de resolver que los de tipo lineal, se aconseja convertir, si es posible, un sistema no lineal a lineal para poder aplicar el método Simplex, semejante al método del gradiente, el cual es un proceso iterativo en el que nos movemos de una solución posible a otra, a fin de mejorar el valor de la función objetivo. Problemas que se

presentan más frecuentemente en este tipo de programación son la programación en enteros, la programación cuadrática.

### 3.6 CONTROL DE INVENTARIOS

Los inventarios son importantes en una empresa por que el 25% del capital de la empresa por lo general está invertido en ellos, salvo casos especiales. Los inventarios son de tres tipos: inventario de materia prima, inventario de producto en proceso e inventario de producto terminado. La determinación de la inversión en inventarios depende:

▣ I. INVENTARIO FUNCIONAL

Equilibra los flujos de entrada y salida de los artículos. El tamaño depende de los patrones de los flujos.

▣ II. INVENTARIO DE SEGURIDAD

Balancea los costos de presentar un artículo determinado con los costos de faltantes.

▣ III. INVENTARIOS DE ANTICIPACION

Son las cantidades adicionales para satisfacer las necesidades futuras de crecimiento.

De esta forma el nivel de inventario será el inventario funcional más el inventario de seguridad más el inventario de anticipación. Así al tamaño óptimo le denominamos cantidad económica a ordenar CEP.

En todo problema de inventarios existen dos costos importantes en su definición:

- I. Costo de Pedido o Costo de Adquisición.
- II. Costo de Inventario de Mantenimiento o Costo de Existencia.

En general los costos de pedido o costos de adquisición son aquellos generados por la requisición, orden de compra, acarreo, recibo e inspección, almacenamiento, contabilidad y auditoría. Inventario y desembolsos de los artículos comprados o manufacturados. En cuanto a los costos de mantenimiento mencionamos los intereses sobre el dinero invertido en inventarios [costo de oportunidad], seguros, impuestos, almacenamiento [tales como calefacción, alumbrado, agua, refrigeración, etc.], la obsolescencia y la depreciación. De esta forma los costos de mantenimiento representaran una línea recta ascendente mientras que los costos de colocación será una curva con tendencia descendente, si sumamos ambas ordenadas de ambas ecuaciones obtendríamos una parábola con concavidad hacia arriba y por lo tanto un punto mínimo en la suma de los dos costos. El punto mínimo se puede obtener por los métodos de cálculo diferencial o bien mediante un método de tabulación.

En cuanto a los modelos de inventario en general podemos mencionar cuatro:

- ▣ Inventario con entrega única con Inventario de Seguridad.
- ▣ Inventario con entrega única sin Inventario de Seguridad.

- ▣ Inventario con ritmo determinado de entrega con Inventario de Seguridad.
- ▣ Inventario con ritmo determinado de entrega sin Inventario de Seguridad.

Tal y como se explicó en el apartado tres de esta unidad, hay que tener cuidado en la selección de la herramienta a ocupar ya que definirá la complejidad, efectividad y utilidad de los datos obtenidos de nuestras soluciones.

### 3.7 METODO SIMPLEX

En el punto anterior mencioné que el problema de programación lineal no puede ser descrito en forma gráfica cuando las variables son más de tres, debido a que no existe el conocimiento de una cuarta o enésima dimensión gráfica todavía. También es necesario decir que el grado de complejidad de los problemas aumenta considerablemente cuando tomamos más de dos variables, y en especial cuando el número de desigualdades es grande; afortunadamente existe un modelo matemático llamado método simplex que representa de una manera natural y económica el cálculo del extremo óptimo. En éste método las desigualdades se convierten en igualdades agregando una variable de holgura que representa el grado de laxitud de la desigualdad dada; dichas variables deberán ser positivas y de esta forma decimos que el problema de programación lineal se reduce a la forma estándar, o sea, el problema consiste en encontrar el máximo de una función objetivo  $Z$  que es una función lineal de un número de variables tales como  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  en donde  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  no son negativas y satisfacen cierto número de

donde  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  no son negativas y satisfacen cierto número de desigualdades lineales. Una vez que realizamos el cambio a la forma estándar, la solución no es alterada ya que los valores que optimizan la función objetivo para el nuevo problema son los mismos que optimizan la función objetivo del problema original, de hecho, se considera la función objetivo con las variables de holgura incluidas sólo que los beneficios para cada una serán igual a cero y por lo tanto no se altera.

Al construir la tabla *símplex* se colocan tanto las variables de holgura como los elementos que proporcionan beneficios y las limitantes, todas actuando conjuntamente en la resolución del problema; el objetivo radica en encontrar una solución factible básica en las cuales, el valor óptimo de la función objetivo siempre ocurre en una de estas soluciones factibles básicas dado que corresponden a los vértices de la región factible; posteriormente se toma esta solución como punto de partida y se transforma en otra solución factible básica. Este proceso de transformación se le conoce como *pivotaje* y se debe de continuar esta serie de iteraciones hasta que se determine el valor óptimo. La ventaja de este método radica en su adaptabilidad para la computación, ya que esta serie de procesos son repetitivos y tienen un orden y forma específico, en otras palabras, el método *símplex* tiene la facilidad de la programación. Así, al emplear el método *símplex*, nos movemos de una solución factible básica a otra, o sea, de un vértice a otro, reemplazando las variable que se mueve y a la que comunmente se le denomina variable de salida que es reemplazada por una variable de entrada. Cuando nosotros determinamos la variable pivote, las demás variables de dicho renglón se les llaman *semipivotes*, y el proceso tomará matices de reducción por

renglón método de eliminación Gaussiana, el cual representará el ciclo a repetir hasta encontrar el valor óptimo deseado.

A continuación muestro un programa de minicomputadoras para resolver problemas de programación lineal:

```
10 REM PROGRAMA PARA RESOLVER PROBLEMAS DE PROGRAMACION LINEAL
20 REM EMPLEANDO EL METODO SIMPLEX
30 DIM A(30,15), B(30), C(15), IBAS(30), NOBA(15)
40 REM M = NUMERO DE RESTRICCIONES
50 REM N = NUMERO DE VARIABLES
60 PRINT
62 PRINT "NUMERO DE RESTRICCIONES Y VARIABLES"
70 INPUT M,N
80 IF M <= 0 GOTO 9999
90 REM LECTURA DE A, B, C
100 PRINT TAB(7); "MATRIZ A"
110 FOR I = 1 TO M
120 PRINT "REGLON"; I
130 FOR J = 1 TO N
140 INPUT A(I,J)
150 NEXT J
160 NEXT I
170 FOR I = 1 TO M
180 PRINT
190 FOR J = 1 TO N
200 PRINT A(I,J);
210 NEXT J
220 NEXT I
230 PRINT
240 PRINT TAB(7); "VECTOR B"
250 FOR I = 1 TO M
260 INPUT B(I)
270 NEXT I
280 PRINT
290 FOR I = 1 TO M
300 PRINT B(I);
310 NEXT I
```



```
320 PRINT
330 PRINT TAB(7); "VECTOR C"
340 FOR J = 1 TO N
350 INPUT C(J)
360 NEXT J
370 PRINT
380 FOR J = 1 TO N
390 PRINT C(J);
400 NEXT J
410 PRINT
420 PRINT TAB(7); "Z"
430 INPUT Z
440 ITERA = 0
450 PRINT
460 PRINT
470 PRINT TAB(9); "ITERACION V. ENTRANTE V. SALIENTE"
480 FOR J = 1 TO N
490 NOBA(J) = J
500 NEXT J
510 REM DEFINICIONES DE VARIABLES BASICAS
520 FOR I = 1 TO M
530 IBAS(I) = N + 1
540 REM DETERMINACION DE LA VARIABLE QUE VA A ENTRAR
550 CMAX = 0!
560 FOR J = 1 TO N
570 IF C(J) > 0! THEN IF CMAX < C(J) THEN K = J : CMAX = C(J)
580 NEXT J
590 IF CMAX <= 0! GOTO 1020
600 VINID = 10000!
610 L = 0
620 REM SE DETERMINA LA VARIABLE QUE VA A SALIR
630 FOR I = 1 TO M
640 IF A(I,K) <= 0 GOTO 670
650 T = B(I) / A(I,K)
660 IF T <= VINID THEN VINID = T : L = I
670 NEXT I
680 REM SI L SIGUE SIENDO CERO SIGNIFICA QUE LA SOLUCION ES NO ACOTADA
690 IF L <= 0 GOTO 1120
700 REM SE INTERCAMBIA LA NUEVA VARIABLE BASICA POR LA QUE SALIO
710 ITEM = IBAS(L)
720 IBAS(L) = NOBA(K)
```

```
730 NOBA(K) = ITEM
740 REM SE INICIA LA REDUCCION POR EL METODO DE GAUSS-JORDAN
750 REM EFECTUANDOSE ESTA OPERACION EN EL LUGAR
760 REM EN LAS SIGUIENTES 5 INSTRUCCIONES SE NORMALIZARA EL
    RENGLO
770 FOR J = 1 TO N
780 IF J = K THEN ELSE A(L,J) = A(L,J) / A(L,K)
790 NEXT J
800 B(L) = B(L) / A(L,K)
810 REM EN LAS SIGUIENTES 9 INSTRUCCIONES SE EFECTUA LA ELIMINACION
820 REM SOBRE LA COLUMNA K
830 FOR I = 1 TO M
840 IF I = L GOTO 900
850 FOR J = 1 TO N
860 IF J = K THEN ELSE A(I,J) = A(I,J) - A(I,K) * A(L,J)
870 NEXT J
880 B(I) = B(I) - A(I,K) * B(L)
890 A(I,K) = -A(I,K) / A(L,K)
900 NEXT I
910 REM EN LAS SIGUIENTES 4 INSTRUCCIONES SE DEFINEN LOS NUEVOS
    COSTOS
920 FOR J = 1 TO N
930 IF J = K THEN ELSE C(J) = C(J) - C(K) * A(L,K)
940 NEXT J
950 Z = Z + C(K) * B(L)
960 C(K) = -C(K) / A(L,K)
970 A(L,K) = 1 / A(L,K)
980 ITERA = ITERA + 1
990 PRINT TAB(7); ITERA, TAB(19); IBAS(L), TAB(31)/NOBA(K); TAB(43); Z
1000 GOTO 550
1010 REM IMPRESIONES DE SALIDA
1020 PRINT
1030 PRINT
1040 PRINT
1050 PRINT TAB(8); "FUNCION OBJETIVO MAXIMA Z = "; Z
1060 PRINT
1070 PRINT TAB(8); "VARIABLES BASICAS DE LA SOLUCION MAXIMA"
1080 PRINT
1090 FOR J = 1 TO M
1100 PRINT TAB(9); "X <"; IBAS(J); "> ="; B(J)
1105 NEXT J
```

```
1110 GOTO 60
1120 PRINT
1130 PRINT
1140 PRINT TAB(9); "EL AREA DE SOLUCIONES NO ESTA ACOTADA"
1150 GOTO 60
9999 END
```

### **3.8 ANALISIS DE MARKOV**

Se define como proceso aleatorio o estocástico a una sucesión de eventos que se desarrollan en el tiempo en el cual el resultado de cualquier etapa contiene un elemento que depende del azar. Cualquier fenómeno de la naturaleza como la sucesión de los días y los eventos que en ellos aparecen bien puede ser un ejemplo de proceso estocástico. Estos eventos pueden reflejarse como los movimientos de la bolsa de valores, el cierre de acciones o las cotizaciones de ciertas empresas. La observación inmediata es que aunque todos estos fenómenos dependen del azar, la mayoría de ellos está afectado, aunque sea una mínima parte, por el evento inmediatamente anterior; así, el caso más simple de un proceso estocástico en que los resultados dependen de otros, ocurre cuando el resultado en cada etapa sólo depende del resultado de la etapa anterior y no de cualquiera de los resultados previos, y de esta forma defino:

#### **CADENA O ANALISIS DE MARKOV**

Es una sucesión de eventos, ensayos u observaciones con la misma oportunidad finita de resultados posibles y los cuales solo dependen del resultado inmediatamente precedente y no de los resultados previos.

Así, decimos que un problema de cadena o análisis de Markov se representa mediante un arreglo matricial de elementos  $p_{ij}$  en los cuales  $i$  representa el valor, evento, suceso actual el cual va a sustituir u ocupar a  $j$ , que representa el valor, evento o suceso a continuar. A este arreglo matricial se le conoce como matriz de transición. Es interesante hacer notar que dicho arreglo ordenado está compuesto de elementos probabilísticos, es decir, los sucesos pasados han arrojado determinados datos que podemos representar mediante probabilidades, por lo tanto, la suma de los elementos:

$$p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + \dots + p_{in} = 1$$

Con lo anterior estamos definiendo que nuestra matriz de transición deberá de ser de  $n \times n$  y como se trata de probabilidades, cada elemento deberá de ser positivo o igual a cero en su defecto. A los elementos  $p_{ij}$  se les denomina probabilidades de transición. Al trabajar en cadenas de Markov es muy útil pensar en una serie de sucesión de eventos físicos, de hecho, esta representación bien puede ser llevada a cabo mediante la sucesión de literales que representan el sistema físico, tomando en cuenta dichas series es más fácil el calcular las probabilidades de nuestra matriz de transición, así como acomodarlas adecuadamente en ella. El análisis de Markov utiliza como herramienta los diagramas de árbol que indican las multiplicaciones a realizar según el número determinado de etapas a considerar.

### 3.9 LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN NUESTRO PROBLEMA

Es la utilización de un modelo de sistemas, que tiene las características deseadas de la realidad, a fin de reproducir la esencia de las operaciones reales; en otras palabras, es la representación de la realidad mediante el empleo de un modelo u otro sistema que reaccione de la misma manera que la realidad, en un conjunto de condiciones dadas. De hecho, la simulación debe de incluir un sistema computarizado para representar la toma real de decisiones bajo condiciones de incertidumbre, con objeto de evaluar cursos alternativos de acción con base en hechos y suposiciones.

La simulación es un medio de dividir el proceso de elaboración de modelos en partes componenetes más pequeñas y combinarlas en el orden natural o lógico. Lo que permite el análisis en computadora de los efectos de las interacciones mutuas entre ellas. Existen diversos métodos de simulación como lo son el método de juegos operacionales, el de Montecarlo y el de simulación de sistemas. Para todos ellos es necesario señalar que aunque la respuesta no sea exactamente la misma en la realidad si estará muy cercana a serlo, los errores más comunes se detectan en la ubicación exacta de las probabilidades de ocurrencia. La simulación es particularmente valiosa para la *investigación de operaciones* en estudio de problemas demasiado complejos para ser analizados por los otros procedimientos.

Debido al creciente uso gerencial de los métodos cuantitativos, ayudado por el uso de las computadoras, la *investigación de operaciones* funciona como una herramienta básica en la resolución de problemas que permiten

la toma de decisiones rápidamente. La administración así como la gerencia dedican sus energías para llegar a las decisiones claves y trazar los planes de crecimiento para la empresa gracias a la ayuda de los métodos, modelos y técnicas de la *investigación de operaciones*.

Es interesante observar que durante los últimos años ha existido un enorme desarrollo en esta materia, la cual ha tenido su éxito en la aplicación de soluciones reales que obtienen resultados favorables a las empresas. Hemos entonces definido el marco con el que se desenvuelve la empresa a la que vamos a estudiar mientras que en el capítulo II se definió básicamente la herramienta a utilizar en la resolución del problema.

Este momento se ha utilizado para la enunciación de algunas de las herramientas factibles que intervendrán en la ejecución del problema práctico. De ninguna forma quiere decir que todas ellas se estén utilizando en el planteamiento o resolución del caso, pero sí nos dan una idea de cuales son factibles de utilizar y nos dicen en que condiciones podrían utilizarse cualquiera de los otros.

En el capítulo V se describe ampliamente el panorama en el que se desenvuelve la empresa en el aspecto productivo y su interacción con la *investigación de operaciones*, a la vez de que se utilizan básicamente las técnicas de programación lineal, simulación, análisis de sensibilidad y relaciones matemáticas. Como se expuso en este capítulo, existen diversos programas de computación que ayudan a la ejecución de nuestro modelo matemático. Estos programas son el Iie.bas y el Lindo, los cuales

tienen la capacidad adecuada para la resolución de un alto número de restricciones.

## CAPITULO IV

---

### METODOLOGIA EN LA RESOLUCION DEL PROBLEMA DE LA EMPRESA

#### 4.1 ESTRUCTURA DEL METODO

La toma de decisiones es en realidad uno de los objetivos más importantes en la *investigación de operaciones*. En realidad, el problema es estudiar los elementos, sucesos o eventos dados o a suceder si en determinado momento aplicamos una decisión determinada. La toma de decisiones debe de tener un carácter científico y estar estructurado de tal forma que permita la asimilación de la información lo más fiel posible.

Existen determinados pasos a seguir en la toma de decisiones, estos pasos pueden estar sujetos a una serie de modificaciones, sin embargo, la estructura básica es la siguiente:

- ▣ 1. Identificar y reconocer una necesidad.
- ▣ 2. Formular un problema.
- ▣ 3. Construir un modelo.
- ▣ 4. Recolectar datos.



- ▣ 5. Resolver el modelo.
- ▣ 6. Validar el modelo y hacer análisis de sensibilidad.
- ▣ 7. Interpretar los resultados y las implicaciones.
- ▣ 8. Toma de decisiones.
- ▣ 9. Seguimiento y evaluación de los resultados.
- ▣ 10. Retroalimentación.

En todos estos puntos estamos enfatizando la resolución de un problema en el cual pueden estar involucrados una serie de restricciones, objetivos particulares y generales, criterios e intereses. En realidad, la toma de decisiones debe de estar sujeta a valores objetivos y medibles, capaces de solucionar y satisfacer una necesidad determinada. En la vida práctica, un elemento que favorece la unificación de intereses radica en la comunicación del usuario con el especialista, ya que el primero tiene la necesidad de tomar una necesidad y el segundo, de plantear efectivamente el problema a resolver obteniendo un modelo matemático que se apege lo mas fielmente posible a una realidad. En la formulación de un problema se identifican las variables, parámetros y restricciones posibles con los cuales será posible el construir un modelo matemático apropiado. De la forma en que funcione nuestro sistema, lo eficaz y refinado del mismo, será los resultados obtenidos, que finalmente tenderán a ser analizados en la toma de decisión, así exista la formulación de la regla de decisión para después llevarla a la práctica. El responsable de la decisión no sólo tiene que identificar buenas alternativas de decisión, sino también escoger las que sean factibles de ponerse en práctica, lo que implica una preparación del clima organizacional para el cambio y las

habilidades del administrador para mover a las organizaciones. Los aspectos del comportamiento del cambio son muy importantes para la exitosa implantación de los resultados derivados de la ciencia administrativa. Este proceso se cierra con un control o monitoreo que sigue el funcionamiento de la decisión en el sistema práctico.

#### 4.2 IMPLANTACION DEL METODO

En el proceso de la toma de decisiones es muy importante señalar que los eventos van encadenados uno tras otro. Una decisión tomada en un momento determinado afectará al sistema en mayor o menor grado según la eficiencia y profundidad de la nueva ruta a seguir.

Uno de los problemas mas grandes que se presentan al implantar una nueva decisión es la aceptación de la misma por la gente. Muchas veces una nueva forma de trabajo, un nuevo sistema de organización o bien una reestructuración de alguna operación puede quedar invalidada si la gente se niega a llevarla a cabo, aún cuando la solución sea la óptima. Debe de existir gran tacto y un hábil manejo en la administración. Las decisiones a tomar pueden ser de dos tipos diferentes:

- I. *A Priori.*
- II. *A Posteriori.*

Una decisión a priori es aquella que se toma en cuenta antes de que un suceso se lleve a cabo. Una analogía bien podría ser en Ingeniería Industrial a lo que llamamos mantenimiento preventivo: un problema se

visualiza antes de que ocurra, se toman medidas y se llevan a cabo. No obstante, no es necesario pensar siempre en que se va a tratar de una amenaza, también puede ser una oportunidad que la empresa desea aprovechar para salir adelante.

La decisión a posteriori es aquella que se lleva a cabo después de la aparición de determinado suceso; si seguimos con la analogía anterior debemos atender a este caso como el tipo de mantenimiento correctivo, en el cual el problema ya se ha presentado y es necesario hacer algún cambio que permita el libre desarrollo de las actividades de una forma natural y normal. De igual manera, no necesariamente estamos hablando de un sistema que se presenta únicamente cuando la situación es adversa, también debemos de incluir situaciones positivas a manera de oportunidades, como en el caso de algún evento exterior a la empresa que la afecta internamente y que sabiendola utilizar puede ser de gran beneficio, ejemplos de ello bien puede ser la situación internacional y política de algún país; México, por ejemplo, esta contemplando la posibilidad de entrar al Tratado de Libre Comercio, para algunas empresas la situación deberá ser crítica, pero con un buen manejo de determinadas perspectivas y atendiendo el curso de los hechos futuros puede convertir lo que se prevee como una amenaza en una valiosísima oportunidad. Anteriormente en las empresas mexicanas pequeñas, medianas y hasta en algunas grandes, este evento era simplemente insospechable, actualmente se ha presentado y se tienen que tomar decisiones que enderezen el camino de algunas actividades o bien se implanten por primera vez haciendo más competitiva el desarrollo del producto o

servicio panorama que ya ha sido expuesto en el capítulo II relacionado con las perspectivas de desarrollo de 1992 en nuestro país.

#### 4.3 SEGUIMIENTO DEL METODO

La toma de decisiones tendrá una repercusión en el nivel con las que fueron planeadas, es decir, una decisión puede tener influencia en todo el sistema con mayor o menor grado de intensidad. Sabemos que al tomar una decisión esta va a afectar de alguna manera a todo el sistema, ya que todos las actividades, todos los departamentos, todos los intereses presentan la llamada unidad de dirección. Lo que también es cierto es que algunas de ellas solo actúan en una delimitada porción mientras que otras alteran el funcionamiento de toda la empresa con muchísima mas fuerza, de esta forma determinamos que existen dos tipos de decisiones:

- I. De Bajo Nivel.
- II. De Alto Nivel.

Todas ellas cumplen con las mismas condiciones iniciales de las que ya habíamos hablado en el principio de este capítulo, la diferencia radica en su interacción con el sistema.

En la vida práctica, las decisiones que se toman a diario no son muy diferentes en estructura a las que se toman a largo plazo, claro está que las primeras se enfocarán a un análisis a corto plazo, más bien de tipo táctico y reflectivas, reaccionando a los cambios diarios que se producen sucesivamente aspecto de suma importancia en la resolución de nuestro

problema ya que la empresa interesada en el modelo requiere un sistema que ajuste instantaneamente todas aquellas cantidades de producción del remache enésimo producido por una máquina determinada; los segundos, por el contrario, requieren de mucho mayor tiempo para su elaboración, son decisiones que llevarán mayor carga de responsabilidad ya que una toma de dirección errónea será detectada después de cierto tiempo ocasionando gastos por de oportunidad, de obsolescencia, de corrección, etc.

Al tomar una decisión de bajo nivel llevará como consecuencia resultados que influenciarán parcialmente algún proceso; en caso de cometer algún error, será mas fácil el hacer alguna corrección que si se cometiese el mismo error en la desición de alto nivel. Otro aspecto importante a señalar es que las decisiones de bajo nivel quedan a juicio de los ejecutivos de la empresas, de hecho, si seguimos al pie de la letra la definición, podemos decir que cualquier persona es capaz de generar y tomar la decisión de bajo nivel, siempre y cuando estemos hablando que dicha decisión tendrá por objetivo el beneficio de la empresa. Las decisiones de alto nivel quedan a juicio de la alta dirección, determinado por los intereses de la dirección y de los accionistas, proporcionando la nueva ruta a seguir de la empresa de una forma global. El entendimiento de los intereses de la alta dirección será, en su lugar, de alto valor ya que proporcionará un mejor entendimiento entre el especialista y el usuario, permitiendo una mejor comunicación que favorecerá la ejecución e implantación de las decisiones, economizando tiempo y llegando a una solución más acertada cada vez.

Las decisiones, por el simple hecho de ser generadas, representan un costo variable para la empresa. Si la decisión es acertada o muy próxima al comportamiento real del sistema entonces se evitan costos de utilización de máquinas, contratación de más especialistas, uso de los recursos de la empresa como lo son luz, impresión, pruebas y en general material de apoyo. Si la primera iteración nos damos cuenta de que el modelo se aleja de la realidad entonces corremos el riesgo de tardarnos demasiado tiempo en la construcción de un nuevo modelo o del refinamiento del anterior. Todos estos costos de generación del sistema que arrojen las alternativas a seguir tienen repercusión en la segunda etapa del costo de decisiones; así, tenemos que una vez construido nuestro modelo, arrojando los resultados alternativos a nuestro problema, y seleccionando la decisión a seguir se puede seguir dos caminos:

- I. Implantación de la Decisión.
- II. Prueba Piloto.

En el primer modelo a seguir sabemos que si el sistema no tiene el éxito requerido, se producirán costos adicionales a los ya acarreados por la empresa, en realidad sucederá que existiran pérdidas por una mala toma de decisiones, eso sin contar que la decisión fuese de alto o bajo nivel. En una empresa pequeña o mediana vemos que una mala toma de decisiones es crítica para la sobrevivencia de la misma, mientras que en una empresa grande las pérdidas ocasionadas por un producto podrán ser absorbidas por las utilidades que genere algún otro artículo, y aunque en un período de tiempo no se generen utilidades para la empresa, ésta podrá subsistir con un poco de paciencia. Una mala decisión en una empresa de tamaño

pequeño sería fatal para su crecimiento, desarrollo o iniciación. Sin embargo, hay que realizar un balance por la implantación de buenas decisiones en corto tiempo permitiendo a las empresas estar en ventaja contra la competencia y asegurando una posición en el mercado con su respectiva participación.

En caso de que pueda ser posible, se aconseja el realizar una prueba piloto que permita estudiar la reacción del mercado ante la introducción de un nuevo matiz a nuestra empresa. Esta prueba piloto también genera costos que en algunos casos son imposibles de llevar a cabo. Los beneficios de una prueba piloto se ven de inmediato al proporcionar información real a la puesta en práctica de una decisión, en otras palabras, hablo de un método que permite la reducción de la incertidumbre en condiciones reales. Una vez más las decisiones generan costos pero son altamente recompensados con el paso del tiempo cuando el sistema realmente tiene éxito y los resultados son muy aproximados a lo esperado.

Un buen seguimiento de las decisiones proporciona información vital en el desarrollo de cualquier empresa independientemente de su tamaño. Cuando el seguimiento es objetivo, preciso y a tiempo se pueden disminuir considerablemente gran cantidad de costos provocados por la falta de atención a las circunstancias que rodean a nuestro sistema. La reacción del mercado, compañía, empresa, accionistas, sistemas productivos, etc. la toma de decisiones determina el éxito o fracaso de eventos posteriores a su implantación. El seguimiento proporciona la información necesaria para el estudio y análisis de las condiciones futuras. No obstante, un

seguimiento de las decisiones no representa la ruta óptima a seguir; para ello se diseñó un proceso denominado control de las decisiones, en el cual se le da importancia a los resultados arrojados por el seguimiento realizando una evaluación que determine si los objetivos se están cumpliendo en la medida esperada o en que porcentaje estamos errando el camino a seguir.

Existen muchos sistemas de control de las decisiones, algunos de ellos se ven íntimamente influenciados con la ideología de determinados países; un ejemplo de ello, Japón, una de las potencias mundiales económicamente hablando, con sistemas de producción industriales altamente sofisticados y eficaces, llevan a cabo el control de cada una de sus actividades casi instantáneamente. Algunos métodos de la Excelencia en la Manufactura determinan su grado de Error Cero lo cual relacionan con la llamada Administración por Objetivos. Cada empleado cuida la elaboración de su trabajo mas el cuidado del trabajo de su compañero inmediato y difícilmente podemos imaginar la sucesión de algún error en intervalos relativamente cortos de tiempo. El éxito no nada más está involucrado con una línea de producción, va mas allá, este fenómeno se presenta repetidamente en todos los niveles gerenciales en cualquier actividad. Así, al tomar una decisión estamos concientes de las consecuencias positivas que acarrea y además hemos hecho una evaluación de las consecuencias en caso de cometer algún error. El estudio objetivo de los puntos a favor menos los puntos en contra provee información indispensable para la ejecución de cualquier proyecto. Si el proyecto es viable y las consecuencias son aceptables en cualquiera de los casos se lleva a cabo, conociendo los costos de las decisiones, dando



el seguimiento adecuado y controlando las variables que en ellas influyen, de esta forma se asegura no solo la supervivencia de la empresa sino que le da condiciones favorables para su crecimiento.

## CAPITULO V

---

### ELABORACION DEL SISTEMA SOLUCION A LA CANTIDAD OPTIMA A PRODUCIR DEL REMACHE TIPO "N"

#### 5.1 ORGANOS DE UNION

Existe una gran variedad de elementos que sirven para unir, juntar o acoplar piezas diferentes o de la misma construcción; se les acostumbra llamar órganos de unión y están hechos de acero. Se clasifican en dos categorías:

- I. Los que se colocan en frío
- II. Los que se colocan en caliente.

De la primera categoría podemos citar a los tornillos y pernos, mientras que de la segunda mencionamos los remaches y la soldadura.

A continuación presento la historia general de cada uno de los órganos de unión mencionados anteriormente.

## TORNILLOS

Los tornillos están formados por un vástago redondo fileteado según un roscado helicoidal encontrándose en uno de los extremos una cabeza que permite transmitirle un movimiento de rotación que logra hacer penetrar el tornillo en las piezas a unir.

Existe una gran variedad de tornillos entre los que destacan los que se utilizan para unir piezas metálicas y los llamamos "tornillos de metales" en donde sus vástagos llevan fileteado una sección triangular con características normalizadas. Dentro de los tornillos de metales existen:

- ▣ A) TORNILLOS DE CABEZA REDONDA  
La cabeza descansa sobre la pieza a sujetar.
- ▣ B) TORNILLOS DE CABEZA CILÍNDRICA  
Como el anterior presenta una ranura diametral a lo largo de toda la cabeza la cual también descansa sobre la pieza a sujetar.
- ▣ C) TORNILLO DE CABEZA AVELLANADA  
La cabeza se apoya en el interior mismo de la pieza de forma que no se produzca resalte alguno sobre la cara exterior de la misma.
- ▣ D) TORNILLOS DE CABEZA PRISMÁTICA  
Destacan los tornillos de cabeza hexagonal y los de cabeza cuadrada.

Los tornillos de metales se utilizan corrientemente en cerrajería y calderería; difícilmente se emplean en construcción metálica al menos que sea prácticamente imposible prever otro medio de unión. En su defecto se utilizan unos tirafondos que son tornillos de madera de gran diámetro

utilizados en las construcciones y que presentan cabeza cuadrada; los tirafondos se utilizan para fijar elementos de construcción de madera sobre partes metálicas y viceversa. Ejemplo de esto se da en las vías de ferrocarril en las cuales los rieles con sus cojinetes van fijados sobre los durmientes mediante tirafondos.

## **PERNOS**

Los pernos se utilizan para facilitar el montaje o la limpieza de los elementos, cuando no es posible remachar o soldar en la unión de los armazones metálicos, pueden llegar a desplazar a los remaches cuando éstos trabajan de forma que puedan desprenderse las cabezas. Los pernos están constituidos por un vástago redondo en el cual uno de sus extremos va roscado en una cierta longitud y el otro lleva una cabeza. La tuerca que tiene por lo general la misma forma que la cabeza del perno lleva en su centro un agujero circular roscado de forma que pueda atornillarse sobre el vástago del perno. Para unir el perno éste se introduce en el agujero previamente practicado y cuya holgura corresponde salvo a la holgura del vástago, luego se procede a apretar las piezas entre la cabeza del perno y su rosca. Su clasificación, al igual que la de los tornillos, va en función del tipo de cabeza y así se distinguen dos grandes ramas: los de cabeza redonda y los pernos de cabeza prismática.

### **□ I. PERNOS DE CABEZA REDONDA**

**I.A. Pernos de cabeza cilíndrica**

**I.B. Pernos de cabeza en forma de casquete esférico. Los cuales se construyen con remaches.**

- I.C. Pernos de cabeza avellanada. Construidos con remaches de cabeza avellanada y cuya cabeza penetra por completo en el espesor de las piezas que deben unirse.
- I.D. Pernos de cabeza avellanada "gota de sebo". La cabeza penetra parcialmente en el espesor de las piezas que deben empalmarse; son raramente utilizadas en la construcción metálica.

▣ II. PERNOS DE CABEZA PRISMÁTICA

- II.A. Pernos de cabeza hexagonal.
- II.B. Pernos de cabeza cuadrada.

En lo que respecta a la tuerca tiene por lo general una altura igual al diámetro del vástago aunque puede variar si el perno está sujeto a grandes esfuerzos a tracción, en este caso, se propone aumentar el diámetro de la tuerca o bien utilizar una contratuerca, la cual es una segunda tuerca de diámetro mas pequeño que proporciona el esfuerzo deseado. Por lo general el diámetro de la contratuerca es de la mitad del diámetro del vástago por economía. Los pernos y las tuercas están hechos de acero dulce o semiduro; los pernos se fabrican a partir de vástagos redondos que se forjan en caliente o en frío y que posteriormente sufren un tratamiento térmico y las tuercas se fabrican en barras agujeradas en caliente, las características finales de la tuerca se terminan en frío. Para evitar que los pernos se desajusten se puede utilizar una contratuerca, contratuerca Mine, resortes Grover o bien un poco de soldadura en la tuerca o el calafateado (aplantar con un martillo la parte final saliente de la tuerca).

## SOLDADURA

Existe una gran variedad de tipos de soldadura, las cuales podemos clasificar en aquellas que utilizan las propiedades de la combinación de ciertos gases y aquellas que requieren el empleo de la energía eléctrica. El uso de la soldadura en construcciones metálicas, en arte y en otras áreas se remonta a varias decenas de años; aunque es necesario decir que algunos países como lo es Francia solamente permite el uso de soldadura de arco eléctrico en la elaboración de obras de arte. De esta forma menciono los tipos de soldaduras realizando las propiedades de combustión de ciertos gases y aquellas que requieren energía eléctrica:

### SOLDADURA OXIACETILENICA

Usa las propiedades de combustión de la mezcla de oxígeno y acetileno. Dicha soldadura se guliza especialmente en calderería y herrería y presta valiosos servicios.

### SOLDADURA A TOPE

Al poner en contacto dos elementos que deben soldarse y con una corriente de poco voltaje y gran intensidad se produce alta temperatura en su punto de contacto.

### SOLDADURA POR CHISPAS

Se realiza una cadena de elementos a soldarse que constituyen el circuito eléctrico, al acercarse rapidamente se producen pequeños arcos voltáicos manifestados en formas de chispas y que llevan a cabo la soldadura.

#### SOLDADURA POR PUNTOS

Los elementos a soldar se colocan entre dos electrodos de cobre que cuando están cerca ejercen sobre los elementos de unión una presión de varias toneladas. Se realiza una sucesión de soldaduras circulares que actúan de forma parecida a la de los remaches y se dice que la soldadura por puntos tiene una resistencia al cizallamiento igual al menos a la de un remache cuyo diámetro fuera el mismo que el de los electrodos. Los electrodos cierran el circuito eléctrico dejando pasar la corriente en un efecto punto.

#### SOLDADURA AL ARCO ELECTRICO CORRIENTE

Es una aplicación del procedimiento Slavianoff. El arco salta entre un electrodo metálico unido a un borne de la zona de soldadura y las piezas unidas al otro borne. El arco funde a la vez el electrodo y el borde de las piezas. Su ventaja es que concentra el calor en una zona muy restringida evitando deformaciones.

### 5.2 UTILIDAD E IMPORTANCIA DEL REMACHE

Dedico este apartado a la presentación de otro tipo de sujetador usualmente utilizado en las construcciones de metal y que ha venido teniendo una gran demanda en el área artística.

Los remaches están constituidos por un vástago redondo y en el cual se encuentra en uno de sus extremos una cabeza que tiene generalmente la forma de casquete esférico. Desde un inicio el principio de unión consistía en calentar el remache hasta el blanco; después ,su vástago se

introduce en un agujero circular practicado en las piezas que deben empalmarse de forma que la cabeza del remache se apoye sobre ellas. El agujero es de un diámetro ligeramente superior al del vástago para permitir una introducción fácil del remache. Como el vástago del remache tiene una longitud superior al espesor total de la junta, se aplasta la parte del mismo que rebasa a fin de formar una segunda cabeza. Cuando se aplasta el vástago, éste se introduce en el agujero y llena el juego que resulta de la diferencia de los diámetros del vástago y del agujero practicado en las piezas. Posteriormente comienza la refrigeración que sigue a la construcción de la segunda cabeza y en la cual el vástago se contrae ajustando enérgicamente sobre las piezas unidas. Este tipo de remache es el utilizado clásicamente en la construcción de elementos estructurales metálicos; actualmente esta industria se ha diversificado grandemente proporcionando otros métodos de adaptación de remaches, así como una amplia variedad de órganos sujetadores dentro de este inciso.

Al igual que los tornillos y pernos, existen varios tipos de remaches y los cuales también se diferencian por la forma de la cabeza, así tenemos:

- I. Remaches de cabeza redonda.
- II. Remaches de cabeza plana.
- III. Remaches de cabeza avellanada.
- IV. Remaches de cabeza en gota de sebo.

Cualquiera que sea la forma de la cabeza utilizada, la segunda cabeza a formar será redonda o avellanada. Cuando se utilizan los remaches en la construcciones metálicas se prefieren los de cabeza redonda y los remaches de cabeza avellanada, estos últimos se emplean en los casos



en que no es posible conservar un resalte en la superficie de los elementos unidos.

Son muy utilizados en calderería y cerrajería, puede remacharse en frío pero para la ejecución de juntas de armazones es preciso siempre remachar en caliente. También se puede remachar a mano o a máquina.

### 5.3 PROCESOS DE MANUFACTURA DE REMACHES

Existen dos procesos de manufactura en la fabricación de remaches, los cuales se utilizan según las características mecánicas que se desean obtener en cada artículo.

El forjado en frío, conocido como Cold Heading, es un proceso en el cual una herramienta de cabeceado desplaza una cantidad de metal de una porción de alambre o barra agujerada para crear una porción de diferente corte transversal que el original, utilizando para el efecto uno o más golpes. Este proceso es ampliamente utilizado en la producción de una gran variedad de artículos para ferretería tales como remaches, pestillos y tornillos. El proceso de forjado en frío presenta diversas alternativas en su aplicación, de hecho, puede ser utilizado en cualquier parte de nuestro material de trabajo, puede unirse con algún otro proceso de extrusión lo que permite que el material aumente su resistencia mecánica para algunas aplicaciones específicas. En general, las ventajas que presenta este proceso son:

- I. Casi no existe desperdicio de material.

II. Incremento en el esfuerzo a tensión por el trabajo en frío.

III. El flujo del grano es controlable.

De esta forma, el cabeceado en frío es utilizado principalmente en la producción de las cabezas de los remaches o de los sujetadores con rosca, haciendolo un método exitoso y económico. Dichos remaches deberán estar hechos de acero de bajo carbón teniendo una dureza de 75 a 87 HRB, aunque también el aluminio, cobre y algunas aleaciones con níquel pueden llegar a funcionar con este proceso de cabeceado en frío; otros como el titánium, beryllium, magnesium se tienen que cabecear en caliente. En conclusión decimos que si el acero contiene cerca del 0.20% de carbono el material será trabajable en frío, si tiene entre 0.40 a 0.45% de carbono se podrá trabajar aunque con menor facilidad y así sucesivamente en la medida en incrementemos el porcentaje de carbono de nuestro material de trabajo. Una vez decidido el material a utilizar el proceso consiste en utilizar un punzón, un dado y el material de trabajo; con estos elementos se distinguen cuatro combinaciones posibles: Cuando la cabeza del remache se forma entre el punzón y el dado, cuando la cabeza del remache se forma en el dado, cuando se forma en el punzón o bien, cuando existe un espacio diseñado en el dado y también en el punzón para que se forme dentro de ellos; la medida de la cabeza deseada estará en relación al diámetro del material de trabajo y de la reducción de área de la cabeza.

En la selección del equipo existen dos criterios a seguir; el primero de ellos se basa en las características del dado, ya que este puede ser abierto o cerrado en la admisión del metal de trabajo. El segundo criterio se basa en el número de golpes que el punzón imparte al elemento

de trabajo durante cada ciclo, así, se puede tratar de máquinas de un solo golpe, doble golpe con dado abierto o cerrado, etc.

Las herramientas que se utilizan en proceso Cold Heading consisten principalmente en dados y punzones. Los dados pueden ser de una sola pieza llamados sólidos o cerrados, o bien, de dos piezas a los que llamaremos abiertos. Los dados sólidos consisten de un cilindro de metal con un agujero en el centro para la admisión del material de trabajo. En esencia, los materiales de las herramientas deben tener superficies duras de alrededor de 60 HRC.

En cuanto a los materiales a utilizar deberán de llevar un tratamiento previo el cual causa que sea esta la parte más cara en todo el proceso, sin embargo, el tratamiento es indispensable ya que el producto final depende de sus características a ello. En cuanto a lo demás el proceso Cold Heading es económico debido a sus altos índices de producción, los bajos costos de elaboración y el poco desperdicio de material. Un índice de producción promedio va de las 2000 a las 50 000 piezas por hora dependiendo del tamaño de los remaches. Los costos de elaboración son mínimos debido a que la mayoría de las operaciones son realizadas automáticamente además, el acabado final de los remaches rara vez es necesario; todo esto es especialmente benéfico sobre todo cuando se trata de salvar costos. Por otro aspecto, las tolerancias de Cold Heading son bastante aceptables y si se quiere ayudar a la duración de vida de la maquinaria se puede combinar exitosamente este proceso con extrusión en frío.

Existe otro proceso llamado forjado en caliente (Warm Heading), el cual es utilizado para aquellos materiales que requieren bajar su dureza durante el cabeceado. Generalmente este proceso es utilizado en los casos en que se requiere una máquina mucho más grande para obtener el mismo producto con el forjado en frío como es el caso del acero inoxidable. La maquinaria y las herramientas son esencialmente las mismas solo varía su resistencia a las altas temperaturas y en el caso del material, debe de existir un sistema de inducción de calor que permita el trabajo del material, obviamente, el equipo debe de estar diseñado para resistir temperaturas que van de los 175 a los 540 grados centígrados. Una vez trabajado el material, este se enfría y recupera sus características originales.

Otro método en el proceso de manufactura es el de estrusión en frío llamado así por que el lingote o barra de metal que entra en el dado de estrusión lo hace a temperatura ambiente; cualquier aumento de temperatura subsecuente es debido a la conversión del trabajo de deformación a calor, el cual alcanza en algunas ocasiones varios cientos de grados. La estrusión en frío puede ser de varios tipos; la hay en forma indirecta, directa o combinada en el desplazamiento del metal por la presión. El desplazamiento indirecto es aquel que se desarrolla en sentido opuesto del recorrido del punzón; la estrusión directa lo hace en el sentido del recorrido del dado y el tercer caso mezcla las dos anteriores.

En la estrusión en frío un punzón aplica presión al lingote causando el desplazamiento del metal en la dirección deseada. El movimiento deseado entre el punzón y el dado es obtenido por la unión de uno de los dos dejando al otro como un macizo fijo mientras que el otro actúa como un émbolo recíprocante. El eje de la máquina puede ser vertical u horizontal.

La presión puede ser aplicada rápidamente, llamada en este caso estrusión por impacto, o bien, lentamente, como en el caso de una prensa hidráulica. La presión ejercida por un punzón puede ser tan baja como de 5 ksi en el caso de algunos metales, o bien, tan alta como 3100 ksi para la estrusión de aceros aleados.

El aluminio y aleaciones de aluminio, cobre y aleaciones de cobre, aceros de bajo y medio carbón, aceros de bajas aleaciones así como aceros inoxidables son metales más comunmente estruidos.

El proceso de estrusión compite con alternativas tales como los procesos de formado de metal como cold heading, forjado en frío, estrusión en caliente, maquinado. La estrusión en frío es utilizada cuando el proceso es económicamente atractivo debido a:

- ▣ Ahorro de material.
- ▣ Reducción o eliminación de maquinado y operaciones de esmerilado, debido al buen acabado de las partes estruidas en frío.
- ▣ Eliminación de operaciones de tratamiento en caliente debido al incremento de las propiedades mecánicas de las partes estruidas en frío.

La estrusión en frío es algunas veces utilizado para producir algunas partes de cierto tipo, pero es frecuentemente utilizada para la producción en masa debido a su alto costo de herramientas y equipo.

#### 5.4 MECANICA INTEGRAL DE LOS REMACHES

En la determinación de la longitud del vástago del remache se debe tener en cuenta que dicho elemento debe de ser lo suficientemente largo para poder sujetar las piezas de unión y que debe tener el diámetro adecuado para poder penetrar dentro del agujero previamente hecho para su colocación. La experiencia marca que existen otras variables que pueden hacer variar las siguientes fórmulas en un pequeño porcentaje; me refiero a que es diferente seleccionar un remache a utilizar en agujeros punzonados a mano o a máquina así como agujeros taladrados a mano que a máquina. de esta forma tenemos:

En agujeros punzonados:

$$L = E + ( 1.5d + 0.06E ) \quad [\text{Remachado a mano}]$$

$$L = E + ( 1.5d + 0.1E ) \quad [\text{Remachado a máquina}]$$

En agujeros taladrados:

$$L = E + ( 1.5d + 0.05E ) \quad [\text{Remachado a mano}]$$

$$L = E + ( 1.5d + 0.08E ) \quad [\text{Remachado a máquina}]$$

donde:

L = Longitud total del vástago del remache.

d = Su diámetro.

E = Espesor total de los elementos que deben empalmarse.

En la práctica es común aumentar o disminuir los valores encontrados de tal forma que las longitudes encontradas de los vástagos sean múltiples de 5 mm logrando medidas comerciales. En construcciones metálicas se tienen los siguientes diámetros expresados en milímetros: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 24. En general podemos decir que los remaches deben de ser fabricados con un acero más dulce que el acero que constituye los elementos unidos porque las condiciones de colocación endurecen el metal del remache. Las características mecánicas del acero de los remaches estan, por lo tanto, en función de la naturaleza del acero de las construcciones, así menciono las siguientes:

Naturaleza del Acero de las Construcciones	Características Mecánicas del Acero de los Remaches
Acero de calidad corriente para construcciones ordinarias.	Se recomienda: Resistencia a la ruptura: $34 \text{ kg/mm}^2 < R < 42 \text{ kg/mm}^2$ Límite elástico $> 20 \text{ kg/mm}^2$ Alargamiento $> 26\%$

Naturaleza del Acero de las Construcciones	Características Mecánicas del Acero de los Remaches
Acero de calidad comprobada, tipo AC-42 para construcciones importantes o para obras públicas.	Tipo a ponerse: Resistencia a la ruptura: $38 \text{ kg/mm}^2$ R $45 \text{ kg/mm}^2$ Límite elástico $20 \text{ kg/mm}^2$ Alargamiento 28 %
Acero de alta resistencia tipo AC-58 para construcciones importantes o para obras públicas.	Tipo a ponerse: Resistencia a la ruptura: $42 \text{ kg/mm}^2$ R $50 \text{ kg/mm}^2$ Límite elástico $28 \text{ kg/mm}^2$ Alargamiento 25 %

La forma en que se debe remachar a mano es la siguiente: Se colocan las piezas a unir enfrentando los agujeros previamente realizados de tal forma que quede perfectamente identificado el claro, se coloca el remache, calentado al blanco (aproximadamente 1200 grados centígrados), y se le mantiene allí fuertemente mediante un yunque llamado "sufridera" que se apoya sobre la cabeza del remache, posteriormente se utiliza un "doile" que no es más que otro tipo de yunque con la concavidad adecuada para la formación de la otra cabeza, se golpea este último y se obtiene el remachado. Existen muchas ocasiones en que el remache está mal hecho ya sea porque la cabeza está descentrada, le falta material para la completar la segunda cabeza semiesférica o bien le sobra material extendiéndose hacia los extremos; de aquí la importancia en la correcta selección de la longitud del vástago. En el caso en que el remache esté mal colocado se deberá quitar pues corre el riesgo de oxidación, permite el juego de movimientos entre las piezas a unir y disminuyen notablemente la capacidad de resistencia a los esfuerzos.



Para remaches de diámetro pequeño y medio se recomienda el uso de martillos neumáticos que facilita el trabajo al obrero; en este caso, el martillo golpea el vástago formando la segunda cabeza, para el efecto se utiliza aire comprimido y por el otro lado, la sufridera debe de estar muy bien apoyada en la cabeza del remache. También se puede utilizar para remaches pequeños, medianos y hasta grandes la remachado a máquina el cual es muy rápido y da excelentes resultados, estas máquinas pueden estar fijas en los talleres o bien se puede utilizar polipastos para su traslado. En cuanto al calentamiento de los remaches es necesario el calentar exactamente a los 1200 grados centígrados, más abajo provocaría que lo se llevara bien a cabo el trabajo de formar la segunda cabeza, un poco más arriba y las propiedades mecánicas de los remaches cambiarían, perdiendo sus cualidades de resistencia y ductilidad; para calentar los remaches se utilizan hornos con soportes que permiten al vástago estar en pleno hogar mientras que las cabezas funcionan como soportes.

#### **CALCULOS DE LOS REMACHES EN JUNTAS**

- I. Si el esfuerzo que se ejerce sobre la junta se dirige perpendicularmente al eje de los remaches, éstos trabajan para resistir al cizallamiento. Se calculan con el cociente del esfuerzo entre la sección total del remache.
  
- II. Si el esfuerzo que se ejerce sobre la junta se dirige según la dirección del eje de los remaches, éstos trabajan para resistir al

desprendimiento de las cabezas y se recomienda no pasar la tensión unitaria de 2.5 Kg.

- III. En el caso en que estén actuando ambos esfuerzos: al corte y al de tracción se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma = 0.5 + (0.25 t^2 + c^2)^{0.5}$$

$$V = (0.25 t^2 + c^2)^{0.5}$$

donde:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo al corte.

V = Tensión máxima al corte.

t = Esfuerzo de tracción.

c = Esfuerzo al corte.

Para la elección del diámetro de los remaches pueden presentarse que la junta se hace mediante ángulos, en este caso, no hay lugar a dudas pues el diámetro del remache está ya impuesto; a cada tipo de ángulo corresponde en forma de cuadro los diámetros de los remaches para los ángulos utilizados, así tenemos:

Características de los ángulos.	Anchura del ala del ángulo en [mm]
	35 40 45 50 60 70 80 90 100 o más
Diámetro de los remaches en milímetros	8 10 12 14 16 18 20 22 24 o 24

En el caso de que la junta se realiza mediante un perfil distinto del ángulo, se toma el diámetro del remache correspondiente al ángulo cuyas características geométricas se aproximen más a la parte del perfil sobre la que se realiza la unión. Si la unión se hace sobre el alma de un perfil de gran dimensión, se sigue la regla referente al remachado de las láminas y las chapas en las cuales el diámetro del remache es al mismo tiempo función del espesor respectivo de cada una de las láminas o chapas unidas y del espesor total de la junta, de esta forma, si el elemento que debe remacharse fuera demasiado débil para los remaches empleados, se tendrían un esfuerzo de ajuste demasiado elevado para este elemento; por el contrario, si los remaches fueran demasiado débiles para el espesor de los elementos unidos podrían producirse la ruptura de los remaches. Así tenemos:

$$1.5 E < d < 2.5 E$$

donde:

d = diámetro del remache en milímetros.

E = Espesor en milímetros de la lámina o de la chapa más fuerte.

En cuanto a la disposición de los remaches estos se disponen según líneas o filas. En una fila la distancia "l" estará definida por:

$$3d < l < 5d$$

donde:

d = diámetro del remache a utilizar.

l = distancia de eje a eje del remache en sentido longitudinal sobre una misma fila.

En cuanto a la distancia que existe entre la longitud del borde del elemento estructural hacia el eje del remache tenemos:

$$2d < l' < 2.5d$$

donde:

d = diámetro del remache a utilizar.

l' = distancia del eje del remache al borde de la orilla del elemento estructural.

En el caso de que los remache no presente gran esfuerzo a la fatiga se puede hacer:

$$l = 7d$$

$$l' = 1.5d$$

## TIPOS DE REMACHES

Una de las ventajas principales de los remaches es su bajo costo, su simplicidad y su confiabilidad, lo que los hace del remachado un método popular de unión y fijación. Existe una amplia gama de productos y estructuras, de pequeño y gran tamaño, en cuya fabricación se emplea este tipo de elementos de fijación. A diferencia de elementos tales como tuercas y tornillos, considerados elementos de fijación removibles, los remaches se clasifican como elementos permanentes de fijación.

Un remache es básicamente un pasador de metal dúctil, que se inserta en huecos perforados en dos o más piezas, y cuyos extremos son configurados de tal manera que las partes queden firmemente aseguradas entre sí. Existe una amplia gama de remaches y cada tipo, dentro de ésta, posee características particulares adecuadas a las aplicaciones específicas para las cuales ha sido diseñado. En general, los remaches se clasifican de acuerdo con su tipo, con el material con el cual han sido elaborados y con el propósito para el cual se emplean. Se fabrican de diversos materiales, siendo los más comunes de acero, acero inoxidable, aluminio, bronce, cobre y monel.

Los remaches pesados se emplean para estructuras de puentes y edificios. Actualmente ha sido desplazados, casi por completo, por el uso de pernos de alta resistencia debido al costo, la resistencia y el ruido. Las uniones remachadas son de dos tipos: de traslape o a tope. La primera une dos láminas sobrepuestas mediante un solo remache (remachado sencillo) o bien con dos remaches (remachado doble). El remachado a tope incluye un tercer elemento intermedio entre los dos elementos a sujetar la cual bien puede ser otra lámina; al igual que la unión de traslape,

los elementos se sujetan mediante remaches dispuestos en dos hileras longitudinales (junta a tope de remachado sencillo) o bien, con cuatro hileras de remaches dispuestas longitudinalmente (junta a tope remachado doble).

Para la fabricación de productos en grandes cantidades, pocos elementos igualan las ventajas de instalación a alta velocidad y bajo costo, que ofrecen los remaches tubulares, semitubulares y abiertos. Estos remaches, ampliamente usados para todos los tipos de uniones sometidas a cargas moderadas, pueden instalarse, logrando altas índices de producción, mediante el uso de equipos de operación manual, dispositivos automáticos o equipos de instalación fija. Dentro de los tipos de remaches livianos existe los semitubulares, tubulares, difurcados (abiertos) y de compresión. Los semitubulares constituyen el tipo más usado. La profundidad del hueco del remache, medida a lo largo de sus paredes no excede el 112 % del diámetro medio del vástago. El hueco puede ser extruido (recto o con conicidad) o perforado (recto), dependiendo del procedimiento, del fabricante y del tamaño del remache. Este remache si ha sido especificado apropiadamente e instalado en un hueco debidamente preparado, se convierte esencialmente en un miembro sólido, ya que el espesor del hueco y su profundidad, son apenas suficientes para el agarre. Utilizado siempre que se requiera una resistencia máxima al esfuerzo cortante, su capacidad de carga en compresión y cizallamiento es comparable a la del remache sólido.

El remache tubular tiene un vástago perforado, con una profundidad de hueco superior al 112 % del diámetro medio del cuerpo. Puede utilizarse para perforar su propio hueco en materiales de revestimiento, algunas

láminas plásticas y otros materiales suaves, eliminando así una operación preliminar de perforación. Su resistencia al cizallamiento es menor que la del remache semitubular.

En el remache bifurcado o abierto el cuerpo del remache es aserrado o troquelado para obtener un vástago dentado que perfora su propio hueco a través de fibras, madera o plásticos. Los vástagos troquelados, con pocas excepciones, son más apropiados que los aserrados para la perforación de materiales no metálicos. Los tipos aserrados o cortados, sirven para utilización con materiales no metálicos tales como el cuero y los sintéticos. El aserrado o corte no distorsiona la pata tanto como el troquelado; sin embargo, el troquelado en frío trabaja el material y lo fortalece. Debe tenerse en cuenta que el tamaño del remache puede alterar la regla anterior.

El remache de compresión está constituido por dos elementos: el remache sólido, y el miembro tubular de perforación profunda. Esta piezas, al unirse a presión, constituyen un ajuste de interferencia. Las cabezas de los dos miembros pueden producirse con tolerancias bastante ajustadas; por esta razón, este tipo de remaches se emplea cuando la apariencia de las dos caras del trabajo deba ser uniforme y las cabezas deban ser emparejadas para prevenir la acumulación de mugre y desperdicios. Pueden emplearse en madera, plásticos frágiles o quebradizos y otros materiales, sin peligro de resquebrajaduras durante la instalación.

Dentro de los remaches tubulares y semitubulares existen dos tipos de agarre en su aplicación:

- I. Agarre Laminado.
- II. Agarre de Estrella.

El agarre laminado o estirado forma un reborde alrededor del extremo del vástago del remache que se agarra a la pieza. En el agarre de estrella, se corta la pared del vástago, en su extremo, y esta parte toma una forma de estrella para fijar el remache a la pieza. Cuando son de esperar variaciones en el espesor del material, así como cuando el material es quebradizo el último procedimiento de instalación es el más recomendable, también lo es cuando solo un remache deba resistir momentos de torsión. Los segmentos del agarre de estrella constituyen una superficie adicional de apoyo, y por consiguiente aumentan la resistencia al momento de torsión. Sin embargo, el agarre laminado constiuye una unión más firme y segura.

La técnica del remache ciego es empleada para instalar el elemento de fijación, cuando no hay acceso al lado posterior de la unión, sin embargo, esta técnica se usa frecuentemente aun cuando los dos lados de la unión sean de fácil acceso. En estos casos, el remache ciego se emplea, generalmente, para facilitar el ensamble, para economizar metal, mejor la apariencia o disminuir los costos de instalación. Al eliminarse la necesidad de operaciones secundarias, mediante el uso de remaches ciegos frecuentemente se logran reducciones sustanciales en el costo y mejoras en la producción.

De acuerdo con sus requisitos de instalación, la mayoría de los fabricantes producen varios tipos de remaches ciegos claramente



diferentes entre sí. Las características básicas para la selección del diseño son:

- La configuración del extremo ciego.
- El estilo del cuerpo.
- El método de instalación.

Las fuerzas de fijación para remaches ciegos, se aplican mediante el núcleo del elemento. En la operación de instalación el núcleo puede removerse dejando un remache hueco, o puede rellenarse para formar un remache esencialmente sólido. Cuando el peso es un factor de consideración, el tipo de núcleo vacío es ventajoso; cuando se requiere una resistencia máxima a los esfuerzos cortantes, el tipo de núcleo relleno es preferible. El diseño de los extremos ciegos varía. Los remaches ciegos se clasifican básicamente en:

- De vástago de halar.
- De pasador de guía.
- Explosivos.

Los remaches de vástago de halar pueden dividirse en:

- Remaches de halado completo.
- Remaches de inserción propia.
- Remaches de pasador muescado.

En los remaches de halado completo un mandril o vástago se extrae íntegramente dejando el remache hueco. En los de inserción propia el vástago es halado dentro, pero no a través, del cuerpo del remache y el

extremo sobresaliente en la mayoría de los casos se remueve con una operación secundaria; por lo que respecta a los remaches de pasador muescado una parte del vástago permanece a manera de tapón en el cuerpo del remache.

El remache con pasador de guía consta de dos piezas: el cuerpo del remache, y un pasador separado que se instala desde el lado de la cabeza del remache. El pasador se introduce, por impacto, dentro del cuerpo del remache, abocardando hacia afuera los extremos ranurado del lado ciego.

El remache explosivo contiene una carga química en su cuerpo la cual se activa mediante la aplicación de calor a través de la herramienta de instalación, lográndose entonces la expansión y fijación del extremo ciego.

Las características principales en la utilización del remache ciego es el costo, la velocidad de instalación, la capacidad de agarre, la integridad estructural de la unión, la variedad de tamaños disponibles, y la habilidad o facilidad del remache considerado para adaptarse al conjunto en cuestión.

## **CALCULOS DE DISEÑO PARA LOS REMACHES CIEGOS**

### **DISTANCIA DE BORDE**

La distancia recomendable, como ya se había mencionado anteriormente, es en promedio el doble del diámetro.

### **ESPACIAMIENTO**

La distancia o paso entre remaches, deberá ser igual al triple de su diámetro. Esta distancia deberá aumentarse o disminuirse de acuerdo con

la naturaleza de la carga. Sin embargo, se considera que una distancia de tres diámetros es suficiente para prevenir las tendencias de falla del material y para concentrar la carga en el remache.

#### **LONGITUD**

La longitud necesaria para ejercer la acción de agarre varía notablemente y depende del material asegurado, de la resistencia necesaria y del método de remachado. La mayoría de los fabricantes de remaches suministran los datos correspondientes a su producto, para facilitar al usuario la selección.

#### **HOLGURA DEL HUECO**

Es la construcción a prueba de vibración, o cuando es necesario una alta resistencia a los esfuerzos cortantes, las tolerancias admisibles para el hueco pueden ser sumamente ajustadas. De ser posible el uso de remaches, en cuyo poder de fijación dependa de la acción de agarre de la cabeza, pueden lograrse economías en el maquinado y el ensamble permitiendo una holgura considerable alrededor del cuerpo del remache.

#### **HOLGURA**

En caso de que no sea cómodo la instalación de los remaches por uno de las caras a sujetar, es aconsejable utilizar la cara opuesta halando el remache por ese extremo. Es necesario tener cuidado de que las cabezas de los remaches no interfirieran con los ángulos o paredes de los elementos a sujetar debido a que en ocasiones aumentan demasiado de tamaño.

#### **HOLGURA POSTERIOR**

Cuando la distancia entre las paredes que se van a asegurar son mínimas y se tienen en forma paralelas, se recomienda el calcular adecuadamente la longitud del remache a utilizar para que se pueda ir sujetando uno por turno en cada una de las paredes sin estorbar el desarrollo del siguiente remache.

#### **HUECOS CIEGOS O RANURAS**

Se le llama así aquellos huecos que son prácticamente invisibles y que tienen que ser sujetados de alguna forma; en este caso se inserta el remache con guía, se golpea haciendo que las paredes se expandan logrando el propósito deseado. La acción de agarre de la cabeza del remache da al conjunto una resistencia suficiente para soportar pequeñas cargas de tensión y esfuerzos moderados de cizallamiento.

#### **UNIONES REMACHADAS**

Pueden ser uniones a tope, cuando se tienen tres láminas, una de las cuales interactúa con las otras dos que quedan en la parte inferior tocándose sus extremos.

En el caso de uniones con traslape simple el remache debe de tener la longitud adecuada para unir las piezas deseadas.

La unión con traslape se debe de dejar una distancia aproximada a dos veces el diámetro para que se eviten las vibraciones o tendencias al enroscamiento.

#### **UNIONES MACHIHEMBRAS**

Son los casos en los que se debe de utilizar remache en los que no sobresalgan bordes en una de las caras y por lo tanto, se deben de usar remaches de cabeza avellanada. Se les llama uniones machihembras porque a la vez que hacen la función de unir también presentan la cabeza avellanada que permite su introducción en la lámina previamente preparada para el efecto.

#### **UNIONES ESTANCAS**

Son las uniones impermeables, en ellas se recomienda el uso de remaches de sección cerrada, o bien, la utilización previa de alguna sustancia impermeables y después la aplicación del remache inmediatamente. En muchas ocasiones se puede elaborar un canal previo y después de instalados los remaches se recubre con silicón; otro método consiste en la utilización de pintura o barniz.

#### **UNIONES DE CAUCHO, PLASTICO O MATERIAL SINTETICO**

Siempre que se traten de unir materiales flexibles, es aconsejable dejar que la cabeza del remache descansa sobre el material menos débil; si lo anterior no es posible entonces se puede incluir alguna tira que ejerza el respaldo deseado.

#### **UNIONES ARTICULADAS**

Son aquellas uniones que permiten el agarre de dos o más elementos a sujetar, sin embargo, también dejan libre la posibilidad de movimiento,

de ahí su nombre de articulación. Se pueden usar para el efecto, remaches de aleaciones más suaves y tiras de respaldo.

#### **FIJACION DE UNA BARRA SOLIDA**

Si se desea unir una barra tubular sólida con una placa existen tres caminos posibles:

O se perfora totalmente la barra sólida, o se le hace un canal por el cual se pueda apoyar el remache o se le hace un hueco perforado a la barra utilizando posteriormente un remache con guía quedando la cabeza del lado de la placa.

#### **FIJACION DE TUBOS**

Se utilizan los mismo métodos anteriores, teniendo en cuenta que es mucho más sencillo el taladrado y la aplicación ya que se trata de una barra con el centro despejado.

#### **UNIONES EN TUBERIA**

Se le llama así cuando en los costados de la tubería es necesario sujetar algunos otros elementos estructurales, de hecho, este método es prácticamente similar al utilizado en conjuntos estructurales.

#### **LAMINAS METALICAS**

Se utilizan para unir láminas metálicas en conjunto, siempre teniendo en cuenta que la cabeza del remache debe descansar en la lámina más gruesa.

#### **USO DE FUERZAS DE HALADO**

Cuando se desea unir láminas de figuras muy diferentes es conveniente el ajustar lo más posible sus entornos permitiendo que las fuerzas de halado realicen el resto. Se debe de tener una buena visión de como colocar las láminas para lograr el efecto deseado.

#### **SECCIONES EN PANAL**

La utilización de varios remaches en conjunto, llamados panales, ayudan al fortalecimiento de la pieza y proveen una unión más fuerte. En caso de que no sean colocados adecuadamente tan solo se logrará causar una deformación en la sección y por lo consiguiente el debilitamiento estructural.

### **5.5 PROGRAMACION DE UNA FABRICA DE REMACHES CANTIDAD OPTIMA A PRODUCIR DE REMACHES TIPO "N"**

Dentro de las especificaciones anteriores, podemos relacionar una gran cantidad de remaches de diversos tipos para aplicaciones diferentes. En la empresa, es común observar que en el área de producción se estén presentando especificaciones de rangos variables en los pedidos del producto. Se observa que la producción, aunque se trata del mismo bien, se deben de tomar en cuenta especificaciones diferentes para los requerimientos de cada cliente. La producción de un determinado tipo de remache está en función de varias variables, las cuales no solamente dependen del producto, como son su longitud o diámetro, sino también de otras características del proceso como lo son la capacidad de producción de cada una de las máquinas que se tienen disponibles, el tamaño del pedido que define un ritmo de producción, el tiempo de cambio provocado por los ajustes que se le deban de hacer a cada una de las máquinas cuando se cambia de una especificación a otra, etc.

Se observa entonces que el problema se convierte en una combinación de restricciones que están actuando sobre elementos bien definidos y que presentan una habilidad de mantenerse dentro de ciertos rangos; estamos hablando de que existen una amplia variedad de soluciones básicas factibles que optimizan los rendimientos de la empresa, que en realidad, es uno de los puntos en los que cualquier empresa está interesada. Se tiene entonces que resolver un problema concreto en el cual se sostengo en varias herramientas matemáticas y probamos su eficacia dentro de datos reales en situaciones reales, es decir, debemos de construir un modelo matemático general que defina la situación de optimización de



recursos en cualquier área de producción no importando el número de variables para después aplicarlo a un caso específico el cual presenta una compañía productora de remaches. Es necesario añadir en este punto que los modelos matemáticos deben de aproximarse a la realidad en un alto nivel de confianza; el reto consiste en elaborar un modelo el cual deberá de someterse a pruebas y obtener resultados los cuales serán expuestos a juicio para revisar su validez; una vez elaborado se compara el nivel de confianza que se tiene y se refina el modelo de ser necesario para volver a repetir la operación; es un conjunto de ciclos iterativos que van refinando a todo el sistema hasta obtener las soluciones que se han presentado o se presentan en la realidad. Nunca dejar de pensar que se está tratando de un problema real, el cual vive a diario una empresa y que ésta, a su vez, soporta una serie de cambios que debe de afrontar mediante una buena toma de decisiones. En nuestro caso es común observar que las decisiones en muchas empresas pequeñas se toman por experiencia o simplemente un presentimiento, lo cual se debe a que los operarios han dedicado su tiempo a la observación del proceso pero no han tenido el tiempo necesario o la preparación adecuada para crear un sistema que les permita obtener la adecuada solución del problema evitándose el proceso prueba y error, además de la ventaja de la información a tiempo, rápida y de forma oportuna.

Dentro de nuestro procedimiento encontramos primero el planteamiento del problema, para después obtener un procedimiento a seguir que dará resultados y los cuales se pondrán a juicio y refinarán el modelo. Es importante señalar que en este momento se utiliza otra de las herramientas importantísimas de la *investigación de operaciones* como

lo es la simulación; en efecto, estamos otorgando variables al azar que arrojarán soluciones posibles de analizar que permiten la corrección del modelo en un proceso continuo.

Una vez obtenidos los resultados de nuestro problema existen diversos métodos de resolución los cuales están basados en la aplicación de elementos matemáticos así como la utilización de la computadora; algunos paquetes necesarios para la ejecución del problema son *lin*, *bas* el cual está elaborado en *basic* y presenta un amplio repertorio de las herramientas expuestas en el capítulo tres; con esto estamos diciendo que existen una serie de técnicas para la resolución del problema lo cual nos invita a escoger alguna que presente una mayor sencillez al cambio en caso de que las variables se modifiquen repentinamente; ejemplos de lo anterior están la programación lineal, álgebra vectorial, teoría de matrices, cálculo vectorial, multiplicadores de Lagrange, regresión múltiple, entre otros. Una vez escogido el método tenemos la oportunidad de simular la operación haciendo varias corridas del programa para después obtener un conjunto de soluciones básicas factibles y obviamente la solución óptima. Sin embargo, una vez que obtenidos los resultados descubrimos que existe otra técnica que denominamos análisis de sensibilidad. El análisis de sensibilidad es un método para investigar el efecto que tienen los cambios en los diferentes parámetros sobre la solución óptima de un problema en la programación lineal. Se pueden cambiar los coeficientes de la función objetivo, los valores del segundo término de las ecuaciones de restricción o los coeficientes asociados directamente con las restricciones. Es frecuente que los coeficientes de la función objetivo o los valores del segundo término de las ecuaciones de

restricción sean estimaciones, y por ello, la sensibilidad de la solución ante cambios en éstos parámetros es de especial valor. El impacto que tienen los cambios en los coeficientes del cuerpo de las restricciones es de gran aspecto ya que se obtienen de la tecnología del problema a resolver. Una de las suposiciones que se hicieron en el análisis de la programación lineal es que los valores de los parámetros del problema se conocen con certidumbre. Existen algunas condiciones que a veces son difíciles de definir, tal es el caso de los coeficientes de la función objetivo o bien la disponibilidad de los recursos. Por ejemplo, los cambios en los costos de los materiales, la mano de obra, o el precio de un producto ocasionarían cambios en la disponibilidad de los recursos. Cada uno de éstos cambios podría afectar la solución óptima al problema original de la programación lineal.

Una forma de analizar cambios en los coeficientes de la función objetivo o en los valores del segundo término consiste en volver a resolver el problema utilizando los nuevos valores. Sin embargo, y con frecuencia, esto no es necesario porque el problema modificado puede tener el mismo conjunto óptimo de variables básicas. El análisis de sensibilidad permite determinar el impacto del cambio sin repetir completo el proceso de solución.

Si algún cambio que se propone en los parámetros cae dentro de los límites permitidos de cambio, entonces no ocurre ningún cambio en la solución óptima y no es necesario resolver un nuevo problema de programación lineal. Si el cambio que se propone cae fuera de los límites, entonces la solución óptima existente ya no será la óptima y deberá

calcularse una nueva solución de programación lineal. Los procedimientos del análisis de sensibilidad permiten calcular estos límites del cambio. El análisis básico se presenta bajo tres encabezados:

- ▣ 1.Cambio en el coeficiente de la función objetivo de una variable no básica.
- ▣ 2.Cambio en el coeficiente en la función objetivo de una variable básica.
- ▣ 3.Cambio en el valor de uno de los recursos.

En general decimos que el cambio en el coeficiente de la función objetivo de una variable no básica es aquella contribución neta a las utilidades en la tabla óptima que no es positiva. Las utilidades que se obtendrían al fabricar cualquier cantidad de una variable no básica son menores o iguales que las utilidades a las que sería necesario renunciar.

Desde un punto de vista gráfico, un cambio en el valor de las utilidades para cualquier variable equivale a un cambio en la pendiente de las líneas de isoutilidad que se utilizan para encontrar la solución óptima. La sensibilidad de la solución óptima a cambios de los coeficiente de la función objetivo puede determinarse añadiendo una cantidad incremento de  $j$  al coeficiente que se tiene de la función objetivo.

Para considerar el cambio en el coeficiente de la función objetivo de una variable básica, que modificará la utilidad en las líneas de isoutilidad, las cuales pueden conducir a diversos vértices óptimos a su vez. Hay que aclarar que cuando existen dos condiciones de mayor o igual, y se elige

la condición que está mas cercana a cero puesto que satisface todas la condiciones de mayor o igual.

Para cambios en un nivel de recursos con frecuencia la sensibilidad de la solución óptima a cambios en los valores del segundo término (recursos) de las ecuaciones de restricción es tan importante para los administradores de negocios como lo son los cambios en los otros coeficientes. Al igual que en el caso de cambios en los coeficientes de la función objetivo, la sensibilidad de la solución óptima a cambios en los recursos se mide a través de una cota superior y una cota inferior para el nivel de recursos que se modifica. Para calcular el efecto de modificar el nivel de un recurso, se añade una cantidad incremento de  $j$  al recurso que se quiere cambiar y después se vuelve a aplicar el proceso de solución. En general, hay que observar que los resultados del análisis de sensibilidad que se utilizarán deben considerarse como mutuamente excluyentes; los conceptos del análisis de sensibilidad no se aplican a cambios múltiples en los coeficientes de utilidad o niveles de recursos, o en ambos. Consideraremos cada pregunta en forma separada. De esta forma tenemos una descripción adecuada de como funciona el análisis de sensibilidad el cual existen varios programas para la resolución automática y al mismo tiempo dentro de la programación lineal. Los programas *lin*, *bas* así como el *Lindo* resuelven los problemas de programación lineal variando su capacidad de solución; el primero logra resolver hasta 19 restricciones considerando la función objetivo, mientras que el segundo tiene capacidad hasta por 59 y considerando un máximo de 119 variables. Dentro del último vemos que existen recursos adicionales como lo son el análisis de sensibilidad, el cual, una vez ejecutado el programa se realiza

éste estudio si se es requerido. Al realizar el análisis de sensibilidad, lo que estamos obteniendo es un proceso de simulación de que es lo que pasaría si obtuviéramos esta cantidad de recursos adicionales, o bien que pasaría si añadieramos una unidad de determinada cantidad en un proceso, y así sucesivamente; lo interesante del procedimiento es que la solución óptima no variaría, es decir, se mantienen constante en el caso de que disminuyéramos una determinada cantidad de algún elemento a una de nuestras variables a conocer. Con lo anterior obtenemos resultados que permitirían el estudio adecuado de nuestra empresa en situaciones que simplemente podríamos dejar pasar por desapercibido.

#### **5.6 DEFINICION DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE OPTIMIZACION DE LA EMPRESA**

Luego entonces, el problema radica en obtener el máximo de los ingresos en función de la producción de nuestras máquinas. Se tiene entonces que el número de máquinas que consideremos formarán el número de variables. Identificando nuestras variables, definimos a  $X_n$  como la cantidad a fabricar de un remache determinado por la máquina "n".

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, \dots, X_n$

La función objetivo tendrá que ser escrita en términos del precio de venta, es decir, dependiendo del tipo de remache existirá un porcentaje determinado producido por el costo y el cual podremos relacionarlo con el precio de venta, de esta forma:

Precio de Venta  
del Producto  
Enésimo = \$

Costo del precio  
de venta del  
Producto  
Enésimo = %\$

Ingresos  
por el Producto  
Enésimo =  $(\$n - \%\$n)Xn$

Lo anterior es completamente válido ya que sabemos que los ingresos son, en general, el precio de venta menos el costo de lo vendido, claro que esto tiene que estar multiplicado por la cantidad de remaches a producir, ya que cada remache, considerado unitariamente, presenta una entrada para la empresa. Es importante distinguir desde este momento que el planteamiento de nuestro problema debe de estar enfocado en un momento determinado en el tiempo, ya que las variables pueden variar con respecto al apartado anterior. Si no tenemos cuidado en el planteamiento del mismo obtendremos soluciones falsas debidas a la variación de nuestros parámetros en el tiempo; para ello es necesario definir que la posición en la que trabajaremos constantemente será en un tiempo de horas hábiles con las que cuenta la empresa logrando así establecer relaciones de producción, de capacidad, de ritmo de trabajo, de fechas de entrega,

tiempo de cambio, todo en función de un día en horas hábiles de trabajo. Una vez tomado en cuenta esto podemos determinar nuestra función objetivo de la siguiente manera:

$$Z_{\max} = (\$1-\%\$1)X_1 + (\$2 + \%\$2)X_2 + (\$3-\%\$3)X_3 + (\$4-\%\$4)X_4 + \dots + (\$n-\%\$n)X_n$$

Una vez defina nuestra función objetivo tenemos que considerar nuestras restricciones; ya que sabemos que las variables determinan la cantidad de remaches a producir de un determinado tipo por una máquina específica, sabemos entonces que no importa cual sea nuestra situación, las máquinas solo podrán producir o una cantidad positiva de remaches o bien no producen nada, que en su caso definirán una producción igual a cero; en otras palabras, no podemos tener una solución negativa ya que para nuestro caso no tiene ninguna validez, no representa nada físicamente y estaríamos dando resultados falsos. Para evitar lo anterior se acostumbra anexas un conjunto de restricciones que definan el dominio de valores que las variables  $X_n$  pueden tomar, de esta forma tenemos:

Obviamente, observamos que tenemos una diagonal principal formada por unos, la cual define que cada variable, o sea, cada cantidad de

$$\begin{aligned} 1X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 1X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 1X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 1X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 1X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 1X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \\ 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 1X_{12} + \dots + 0X_n &> = 0 \end{aligned}$$

$$0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 1X_n > = 0$$



remaches producidos por la máquina enésima tendrán que ser mayores o iguales a cero, lo que significa que o estará produciendo la máquina o simplemente no trabaja. Estas condiciones estarán sujetas a una serie determinada de variables las cuales habrá que añadir.

Cuando mencionamos la capacidad de producción decimos que cada máquina tiene una capacidad de producción determinada; esto implica que si existe un número determinado de máquinas que producen el mismo producto se sabe que no necesariamente todas ellas trabajarán al mismo ritmo de producción debido a una infinidad de variables como son el desgaste, mantenimiento, antigüedad, tecnología, adaptaciones, etc.

Tenemos entonces que agregar las restricciones de capacidad de producción las cuales denotaremos con el símbolo  $Q_n$  que significa la capacidad de producción de la máquina  $n$  tomada por individual en un día definido en horas hábiles de trabajo; por lo tanto tenemos:

$$\begin{aligned}
 1X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_1 \\
 0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_2 \\
 0X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_3 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_4 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_5 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_6 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 1X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_7 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 1X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_8 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 1X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_9 \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 1X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_{10} \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 1X_{11} + 0X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_{11} \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 1X_{12} + \dots + 0X_n &\leq Q_{12} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0X_{11} + 0X_{12} + \dots + 1X_n &\leq Q_n
 \end{aligned}$$

Dentro del estudio de nuestro modelo vemos que al anotar el símbolo damos oportunidad a encontrar puntos de soluciones básicas factibles que optimicen nuestro modelo. También podría ser factible el ajustar la producción a un determinado nivel de cantidad a producir cambiando el símbolo de menor o igual que por el del igual, sin embargo, en este momento habremos terminado con una parte esencial de nuestro problema ya que no permitiremos el probar una gran cantidad de soluciones que nos representen la oportunidad de escoger una solución alternativa o de máximos ingresos.

Por lo que se refiere al tamaño del pedido, debemos de pensar este apartado como un ritmo de producción diaria; en este momento es indispensable señalar el segundo aspecto importantísimo de nuestro modelo; ya hemos dicho que el tiempo es básico para la presentación del sistema, el segundo punto radica en considerar al sistema como un conjunto de ecuaciones de tipo homogéneas, es decir, no importando si la desigualdad es mayor, menor, mayor o igual, menor o igual, igual, las unidades que se presente en el miembro izquierdo, ya sea de nuestra desigualdad o de nuestra ecuación, deben de ser las mismas de las que consideremos en el miembro derecho; más aún, las unidades que vamos a trabajar en nuestro modelo deben de ser iguales en todo el sistema, es decir, en caso de que queramos agregar cualquier otra restricción es importantísimo el pensar a las restricciones en función de una misma variables, no podemos mezclar ecuaciones de tiempo con las de la cantidad de remaches de determinado tipo en una máquina específica; este es uno de los principios aplicados en la *investigación de operaciones* dentro de la programación lineal, en caso de no respetar este inciso

obtendremos incongruencias, el sistema no se podrá resolver o bien la computadora enunciara oraciones tales como no es posible la solución a obtener; es natural, se trata de un modelo el cual parte de la realidad así que es interesante ver la mecánica del sistema y su comportamiento. En varios ensayos preliminares dentro de la elaboración del sistema se fijaron varias variables diferentes, los resultados fueron los expuestos anteriormente y se tuvo que refinar el modelo consecutivamente. Otro experimento interesante que se realizó fue el probar una restricción de porcentajes permitiendo de esta forma el desligar la cantidad como cifra, el resultado fue el esperado, no se podía considerar este apartado ya que no se contaba con un sistema homogéneo, en efecto, todas las demás condiciones expuestas anteriormente se conservaron idénticas, y el resultado era una prueba determinante de la forma en que se manifiesta la dinámica de nuestro sistema. Por ello, existen un tipo de restricciones que definen exactamente la cantidad que se debe de producir diariamente, lo cual denominamos ritmo de producción diaria. En función de los pedidos podemos clasificar nuestras máquinas en secciones que produzcan el mismo tipo de remache o de características muy similares, se elabora una tabla previa en la cual se propongan el tamaño del pedido de un remache determinado por una máquina determinada, claro está que ese pedido tendrá un determinado tiempo en días disponibles para realizar el trabajo y por lo tanto se deben de dividir la cantidad del tamaño del pedido total para dicha máquina entre el número de días hábiles en tiempo disponible para su entrega, esto se debe de hacer por individual para cada máquina, por lo tanto:

*(Tamaño del pedido de un determinado tipo de remache a producir por una máquina específica)/(Días disponibles para su entrega consideradas en horas hábiles) = Ritmo de producción de dicha máquina.*

Tomando en cuenta la leyes del álgebra, si tenemos una cantidad de máquinas iguales, o con características semejantes que sean capaces de producir un determinado tipo de remaches, entonces tendremos una cantidad de ritmos de producción diferentes en función de las máquinas con características a fines, y por lo tanto al sumar la producción de todas estas máquinas también podremos sumar los ritmos de producción de las mismas. En consecuencia, lo que estamos haciendo es identificar otra de las restricciones llamada del ritmo de producción y la cual permite separar el modelo en pequeños fragmentos posibles de resolver. Así tendremos un conjunto de restricciones que en esta ocasión estará en función del número de máquinas que producirán remaches con características semejantes.

En este apartado podemos jugar con el símbolo  $\leq$  ya que si estamos buscando soluciones factibles básicas dentro de un determinado rango de los pedidos estaremos considerando que pueden existir faltantes lo cual ocasionaría multas que se reflejarían con ingresos que se dejarían de percibir. En el caso de que consideremos la producción fija, estaremos definiendo el signo  $=$ , lo cual determinará un nivel fijo no movable y en el que no se permitan ni faltantes ni sobrantes.

El tercer caso es cuando se considere el signo  $\geq$  y el cual habrá sobrantes que provocarán costo de una sobreproducción y también se tendrá que retirar de la función objetivo como ingresos que se absorbieron

por causas exteriores. En otras palabras estamos simulando la situación de la empresa.

Otra variable común en cualquier empresa es la de fecha de entrega, o sea, es el tiempo máximo disponible para realizar la producción del pedido. Este apartado se debe de introducir dentro del término ritmo de producción por dos razones importantes:

La primera es que estamos eliminando la formación de nuevas restricciones lo cual ayuda en la resolución del problema debido a los límites de capacidad del programa a utilizar.

La segunda es que estamos traduciendo a términos de cantidad de remaches de determinado tipo a producir por una máquina específica la disponibilidad del tiempo. Una forma de disponer de ésta variable pero introduciéndola al modelo anticipadamente. Situación análoga con el tiempo de cambio el cual se reporta como tiempo ya perdido y no productivo, el cual es necesario para la fabricación del remache; es una forma de marcar el límite inferior del estudio. Obviamente se podrá ver que en este caso se trata de encontrar ingresos que jamás serán percibidos y los cuales se pueden hallar al retirar esa cantidad de ingresos producidos por nuestros cambios a la función objetivo que dará la solución total.

Concluyendo nuestro planteamiento del problema, haremos resaltar que las variables de ingresos y cantidad están íntimamente relacionadas, pero más aún, se trata también de otro aspecto interesante: el tiempo. En

efecto, al principio de nuestro tema se definió que existen otras herramientas clásicas para el planteamiento y resolución de nuestro problema. Uno de ellos es el cálculo vectorial aplicado en modelos semejantes aplicados en micro y macro economía. En cálculo vectorial se enseña que cuando se tienen tres variables interactuando se está hablando de un espacio tridimensional. En nuestro caso estamos generando una curva de soluciones que se desliza a través del tiempo y que representan la relación ingresos-cantidad. El objetivo es encontrar dentro de la generación de la superficie los puntos máximos y mínimos de nuestro entorno que determinen los máximos ingresos mediante un arreglo inteligente de nuestras cantidades a producir, todo ello se debe de llevar a cabo en un instante dado.

Este es en realidad uno de los aspectos básicos del planteamiento del problema, ya que la empresa interesada en nuestro modelo desea conocer cual debe de ser la cantidad a producir pero no cada semana, sino diariamente, instantáneamente, a manera de que si se presenta un pedido determinado en un momento dado se tengan las herramientas adecuadas para poder reacomodar los niveles de producción e integrar nuevamente el punto del equilibrio que identifique las máximas utilidades, es decir, un proceso continuo e instantáneo. Nuestra curva al irse deslizando genera curvas y superficies caprichosas que podrán ser susceptibles de estudiar siempre y cuando podamos ejecutar un corte transversal en el tiempo. Ya he mencionado dentro de este mismo apartado que los dos puntos interesantes a estudiar son el tiempo y la homogeneidad de las ecuaciones, de aquí que el tiempo se deba de traducir como la cantidad a producir en un instante dado. Esta es una forma de mantenernos trabajando con dos parámetros que identifique un plano bidimensional el

cual se va trasladando con respecto al tiempo. Es interesante ver como podemos aumentar el número de variables a cuantas deseemos, así, el modelo puede trabajar para una microempresa, como para una pequeña, mediana o grande. No hay restricciones en el número de máquinas y por lo tanto no lo habrá en el número de variables. Se ha conseguido elaborar un modelo que permita el comprender la situación de una empresa instantáneamente, además de permitirle soluciones alternativas mediante el análisis de sensibilidad aplicado a la programación lineal.

#### **5.7 APLICACION DEL MODELO DE OPTIMIZACION REMHER, REMACHES Y HERRAMIENTAS S.A. DE C.V.**

La aplicación del sistema fue hecha por primera vez en una empresa pequeña dedicada a la producción de remaches. REMHER, Remaches y Herramientas, S.A. de C.V., ubicada en Calzada de las Armas No. 4. Fraccionamiento Industrial Las Armas; Tlanepantla, Edo. de México, C.P. 54080, requiere para su empresa un modelo que le permita obtener la cantidad óptima de remaches de determinado tipo que debe de producir cada máquina por individual para obtener los máximos ingresos; se trata de que en el área de producción exista una herramienta que permita obtener los resultados sin basarse en suposiciones o ensayos de prueba y error. Anteriormente era común el obtener estos ajustes por medio de la experiencia y en realidad se dan resultados muy aproximados pero que requerido una alta atención en costos y utilización del tiempo, es por ello que en los casos de que existan nuevas órdenes se deberá de tener en cuenta nuevas condiciones en la producción de nuestra planta las cuales

se podrán manejar de forma inmediata si se cuenta con dicho modelo computarizado. Existen una serie de datos que nos permiten aplicar las condiciones a nuestro sistema, entre otras sabemos:

I. Remher cuenta con 22 máquinas que trabajan con diferentes ritmos de producción y que están agrupadas según características a fines.

Se tienen 8 máquinas que producen remaches en función del diámetro y la longitud de (1/8,5/32) hasta (5/32,3/4).

Existen 5 máquinas que producen remaches de (5/32,3/16) hasta (3/16,1").

Otras 4 máquinas más que producen remaches de (3/16,1/4) hasta (3/4,2").

Y finalmente otras 5 máquinas que producen remaches de (1/4,1/5) hasta (3/4,4").

En este análisis observamos que existe en general un límite inferior de 1/8 hasta un límite superior que es el de 4".

Debido a esto las máquinas se agrupan clasificandolas en cuatro áreas que permiten el estudio de cada una de ellas permitiendo al modelo considerarlas con características similares.



II. Al grupo de las primeras máquinas, es decir, aquellas que producen remaches desde  $(1/8, 5/32)$  hasta  $(5/32, 3/4)$  tendrán como números del uno al ocho, que relacionando el número de máquinas con la cantidad de remaches a producir de un determinadas características tendríamos:

**Grupo I:**

X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8

De la misma forma asociando los demás grupos podemos identificar:

**Grupo II:**

X9, X10, X11, X12, X13

**Grupo III:**

X14, X15, X16, X17

**Grupo IV:**

X18, X19, X20, X21, X22

Vemos entonces que se tratan de 22 variables las cuales van estar interactuando en grupos de máquinas similares. Es importante destacar que en la Investigación de operaciones siempre que las variables sean las entradas se buscará minimizar y siempre que las variables sean la salida se buscará maximizar automáticamente; esto es provocado por la naturaleza del problema. No es difícil identificar en nuestro caso de que las variables  $X_n$  determinan una cantidad a producir de remaches de determinado tipo por una máquina específica en un día y por lo tanto

estamos trabajando con el producto terminado, luego entonces se trata de una salida y nuestra función objetivo tenderá a maximizar nuestros ingresos. Es una relación de cantidad-ingresos.

### III. Capacidad de Producción

Cada máquina cuenta con una determinada capacidad de producción la cual varía debido al desgaste, mantenimiento, antigüedad, tecnología, etc. no obstante se sabe que cada máquina puede tener rangos de ajuste y por lo tanto habrá un valor máximo con el que pueda trabajar y una gama de valores inferiores posibles de tomar en el momento de realizar la programación lineal. Esta es la puerta que nos indica la facilidad para encontrar soluciones básicas factibles. De esta forma se tendrán:

$X_1 \leq Q_1$   
 $X_2 \leq Q_2$   
 $X_3 \leq Q_3$   
 $X_4 \leq Q_4$   
 $X_5 \leq Q_5$   
 $X_6 \leq Q_6$   
 $X_7 \leq Q_7$   
 $X_8 \leq Q_8$   
 $X_9 \leq Q_9$   
 $X_{10} \leq Q_{10}$   
 $X_{11} \leq Q_{11}$   
 $X_{12} \leq Q_{12}$   
 $X_{13} \leq Q_{13}$   
 $X_{14} \leq Q_{14}$   
 $X_{15} \leq Q_{15}$   
 $X_{16} \leq Q_{16}$   
 $X_{17} \leq Q_{17}$   
 $X_{18} \leq Q_{18}$   
 $X_{19} \leq Q_{19}$   
 $X_{20} \leq Q_{20}$   
 $X_{21} \leq Q_{21}$   
 $X_{22} \leq Q_{22}$

IV. En función del tamaño del pedido y de las fechas de entrega se podrán identificar las variables "tamaño del pedido" y "tiempo máximo disponible para realizar la producción de un pedido", este tiempo deberá de estar sujeto a un horario determinado en horas hábiles; en nuestro caso la compañía trabaja de lunes a viernes con un promedio de 14.5 horas diarias. Si se desean tiempos extras se puede disponer de horas extras los sábados, lo cual variaría un poco los costos del producto ya que en estas jornadas hay que aumentar en determinado porcentaje los sueldos de los trabajadores. No siendo problema el tiempo, ya sea que se someta a tiempos extras o se trabaje en horario normal, porque las modificaciones que se realicen estarán denotadas en la función objetivo. En este apartado lo que demostramos es que se puede obtener un ritmo de producción de cada máquina una vez que sabemos la carga de trabajo a la que vamos a someter cada máquina y el tiempo con el que dispone; de esta forma se hace la división entre el tamaño del pedido de dicha máquina entre los días disponibles bajo las restricciones ya mencionadas, de esta manera tendremos el ritmo de producción de cada una de las máquinas. Posteriormente se suman todos los ritmos de producción de los grupos de máquinas con características comunes, ya que definitivamente todas las máquinas requeriran producir entre todas una cantidad bien determinada al día que permita el cumplimiento de los pedidos. Estas restricciones fueron simuladas con las desigualdades menor o igual que, mayor o igual que; además de utilizar el igual. Se observa que cuando nos limitamos al igual las soluciones del problema son precisas y no hay lugar a ambigüedades, en el caso de colocar como restricción el menor o igual que, como nuestro sistema está buscando maximizar los ingresos sabe que una disminución en la cantidad deseada provocará una disminución

de los ingresos y por lo tanto tiende a mostrarse en el igual emitiendo los mismos resultados que los que daría la restricción anterior. En el caso del mayor o igual que, es común que la computadora resuelva diciendo que existe solamente una solución, y es obvio, ya que si la suma de todas los ritmos de producción son infinitos o mayores a la capacidad de producción de las máquinas entonces la respuesta será obvia y no es necesario el realizar todo el modelo, es decir, las máquinas deberán trabajar a máxima capacidad para resolver en el mayor grado posible los pedidos a realizar. Aquí se cuestionaría el hecho de expandir la fábrica adquiriendo más maquinaria para no abandonar una parte importante de nuestro mercado que está demandando más de lo que podemos producir. El problema se tornaría en uno de evaluación de proyectos para después retomar el estudio del trabajo en el balanceo de líneas y finalmente llegar a nuestro problema de aplicación de la programación lineal. Específicamente en nuestro problema tenemos entonces:

$$\begin{array}{rcl} X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 & = & C1 \\ X9 + X10 + X11 + X12 + X13 & = & C2 \\ X14 + X15 + X16 + X17 & = & C3 \\ X18 + X19 + X20 + X21 + X22 & = & C4 \end{array}$$

donde:

C será la cantidad total a producir por todas las máquinas consideradas en un día hábil. Con ello se estará estableciendo el ritmo de trabajo total al que deben de trabajar nuestros elementos para satisfacer la demanda.

V. La elaboración de la función objetivo tenderá a ser considerada en términos del precio de venta así como del costo de lo vendido ya que ingresos es precisamente la resta del precio de venta menos el costo de lo vendido.

Es importante remarcar que los remaches se acostumbran vender por millares, dentro de lo cual no todos los remaches tienen el mismo precio y varía desde 5000.00 pesos moneda nacional hasta 500 000 pesos moneda nacional el millar. En nuestro análisis así como estamos considerando el tiempo como un día hábil de trabajo será necesario definir nuestra función objetivo en términos de los ingresos que se reciban por un solo remache que multiplicado por la cantidad a producir de remaches de determinado tipo por una máquina específica darán como resultado los ingresos totales de que esa máquina podrá otorgar y que cuando sumamos todos los ingresos individuales provocados por cada una de las máquinas estaremos obteniendo el ingreso total de la producción.

La función objetivo quedará escrita como:

$$Z_{\max} = I1X1 + I2X2 + I2X3 + I4X4 + I5X5 + I6X6 + I7X7 + I8X8 + I9X9 + I10X10 + I11X11 + \\ + I12X12 + I13X13 + I14X14 + I15X15 + I16X16 + I17X17 + I18X18 + I19X19 + I20X20 + \\ + I21X21 + I22X22.$$

donde:

$I_n$  = Ingreso del Producto Vendido

La ecuación anterior podemos definirla:

$$Z_{\max} = (\$1-C1)X1 + (\$2-C2)X2 + (\$2-C3)X3 + (\$4-C4)X4 + (\$5-C5)X5 + (\$6-C6)X6 + \\ + (\$7-C7)X7 + (\$8-C8)X8 + (\$9-C9)X9 + (\$10-C10)X10 + (\$11-C11)X11 + \\ + (\$12-C12)X12 + (\$13-C13)X13 + (\$14-C14)X14 + (\$15-C15)X15 + \\ + (\$16-C16)X16 + (\$17-C17)X17 + (\$18-C18)X18 + (\$19-C19)X19 + \\ + (\$20-C20)X20 + (\$21-C21)X21 + (\$22-C22)X22.$$

donde:

$C_n$  = Costo del Producto Vendido

Sabemos, además, que el costo de nuestro producto es variable según el producto del que se trate, pero en general podemos considerar un 35% del precio de venta como dicho costo. De ésta forma tenemos:

$$\text{Ingreso enésimo} = \$n - C_n$$

$$\text{Ingreso enésimo} = \$n - 0.35\$n$$

$$\text{Ingreso enésimo} = 0.75\$n$$

Por lo tanto:

$$Z_{\max} = 0.75X_1 + 0.75X_2 + 0.75X_3 + 0.75X_4 + 0.75X_5 + 0.75X_6 + 0.75X_7 + \dots + 0.75X_{22}$$

$$Z_{\max} = 0.75[X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + \dots + X_{22}]$$

Que debido a la flexibilidad del modelo, en caso de que el 35% del costo de venta no fuera constante para cada remache tan solo bastaría con modificar individualmente cada uno de los coeficientes de la ecuación objetivo en el momento de programar el sistema. En cuanto a las restricciones, sabemos que nuestras cantidades a fabricar del remache "n" en un día deberán ser calculadas para nuestro caso real y por lo tanto existen únicamente dos posibilidades:

O existe la cantidad a producir o simplemente la máquina estudiada no produce un determinado tipo de remache; lo que no puede existir es que

obtenemos  $X_n$  negativas, y por lo tanto nuestras últimas 22 restricciones estarán en términos de la definición del dominio de las variables  $X_n$ .

En conjunto el sistema propuesto para la solución del problema específico de nuestra empresa y el cual puede estar sometido a cualquier cambio del valor de los parámetros será:

$$\begin{aligned}
 Z_{\max} = & (\$1-C1)X1 + (\$2-C2)X2 + (\$2-C3)X3 + (\$4-C4)X4 + (\$5-C5)X5 + (\$6-C6)X6 + \\
 & + (\$7-C7)X7 + (\$8-C8)X8 + (\$9-C9)X9 + (\$10-C10)X10 + (\$11-C11)X11 + \\
 & + (\$12-C12)X12 + (\$13-C13)X13 + (\$14-C14)X14 + (\$15-C15)X15 + \\
 & + (\$16-C16)X16 + (\$17-C17)X17 + (\$18-C18)X18 + (\$19-C19)X19 + \\
 & + (\$20-C20)X20 + (\$21-C21)X21 + (\$22-C22)X22.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 & = C1 \\
 X9 + X10 + X11 + X12 + X13 & = C2 \\
 X14 + X15 + X16 + X17 & = C3 \\
 X18 + X19 + X20 + X21 + X22 & = C4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 1X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 1X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 1X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 1X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 1X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 1X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 1X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 1X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 1X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 1X11 + 0X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 1X12 + \dots + 0X22 & > = 0 \\
 \dots & \dots \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 1X22 & > = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q1 \\
 0X1 + 1X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q2 \\
 0X1 + 0X2 + 1X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q3 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 1X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q4 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 1X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q5 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 1X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q6 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 1X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q7 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 1X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q8 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 1X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q9 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 1X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q10 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 1X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &\leq Q11 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 1X12 + \dots + 0X22 &\leq Q12 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 1X22 &\leq Q22
 \end{aligned}$$

Que considerandolos por los grupos de máquinas ya mencionados desde el principio tenemos cuatro modelos independientes de la siguiente forma:

### Grupo I

$$Z_{\max} = (\$1-C1)X1 + (\$2-C2)X2 + (\$2-C3)X3 + (\$4-C4)X4 + (\$5-C5)X5 + (\$6-C6)X6 + (\$7-C7)X7 + (\$8-C8)X8$$

$$X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 = C1$$

$$\begin{aligned}
 1X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 1X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 1X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 1X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 1X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 1X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 1X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0 \\
 0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 1X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &> = 0
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}1X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q1 \\0X1 + 1X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q2 \\0X1 + 0X2 + 1X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q3 \\0X1 + 0X2 + 0X3 + 1X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q4 \\0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 1X5 + 0X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q5 \\0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 1X6 + 0X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q6 \\0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 1X7 + 0X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q7 \\0X1 + 0X2 + 0X3 + 0X4 + 0X5 + 0X6 + 0X7 + 1X8 + 0X9 + 0X10 + 0X11 + 0X12 + \dots + 0X22 &= Q8\end{aligned}$$

### Grupo II

$$Z_{\max} = (\$9-C9)X9 + (\$10-C10)X10 + (\$11-C11)X11 + (\$12-C12)X12 + (\$13-C13)X13$$

$$X9 + X10 + X11 + X12 + X13 = C2$$

$$X9 \geq 0$$

$$X10 \geq 0$$

$$X11 \geq 0$$

$$X12 \geq 0$$

$$X13 \geq 0$$

$$X9 \leq Q9$$

$$X10 \leq Q10$$

$$X11 \leq Q11$$

$$X12 \leq Q12$$

$$X13 \leq Q13$$

### Grupo III

$$Z_{\max} = (\$14-C14)X14 + (\$15-C15)X15 + (\$16-C16)X16 + (\$17-C17)X17$$

$$X14 + X15 + X16 + X17 = C3$$

$$X14 \geq 0$$

$$X15 \geq 0$$

$$X16 \geq 0$$

$$X17 \geq 0$$

$$X14 \leq Q14$$

$$X15 \leq Q15$$

$$X16 \leq Q16$$

$$X17 \leq Q17$$

### Grupo IV

$$Z_{\max} = (\$18 - C_{18})X_{18} + (\$19 - C_{19})X_{19} + (\$20 - C_{20})X_{20} + (\$21 - X_{21})X_{21} + (\$22 - C_{22})X_{22}.$$

$$X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} = C_4$$

$$X_{18} \geq 0$$

$$X_{19} \geq 0$$

$$X_{20} \geq 0$$

$$X_{21} \geq 0$$

$$X_{22} \geq 0$$

$$X_{18} \leq 0$$

$$X_{19} \leq 0$$

$$X_{20} \leq 0$$

$$X_{21} \leq 0$$

$$X_{22} \leq 0$$

Por lo que se refiere a los modelos realizados para conocer los tiempos de cambio o de ajuste perdidos en cada operación, tenemos que la solución es determinada bajo los mismos parámetros conociendo el número de piezas que se dejen de producir en ese tiempo. Esto engendrará ingresos que jamás se llegaran a percibir las cuales deberemos de restar a nuestros ingresos que consideramos con nuestra función objetivo inicial y por lo tanto llegaremos a una solución bien definida. De hecho, estamos traduciendo en ingresos lo que se representa mediante unidades en cualquiera de las situaciones a las que se enfrente la empresa. Este modelo fue puesto en marcha en dos paquetes diferentes de *investigación de operaciones*: *lie.bas* y *el Lindo*, los cuales otorgaron resultados interesantes de analizar.

## 5.8 ESPECIFICACIONES DE REMHER

Retomando nuestro modelo general, nos enfocamos a resolver la cantidad óptima a producir de remache tipo "n" por una máquina específica. En esta última condición, estamos enunciando que es muy factible que una máquina pueda realizar uno o más tipos de remaches, es decir, una máquina es capaz de llevar a cabo varios remaches tomando en cuenta su tiempo de cambio para las especificaciones definidas en el pedido. También es interesante observar que un mismo tipo de remache se puede realizar en varias máquinas diferentes. Esto fomenta la utilización de un arreglo matricial en donde las columnas definan a los diferentes tipos de remaches mientras que los renglones son las máquinas a utilizar. La aplicación de este sistema permite entonces utilizar cualquier tipo de variación que nos interese a estudiar.

Uno de los aspectos interesantes a resaltar es que cada remache representa un pedido a cumplir en un determinado tiempo. Debido a que varias máquinas se pueden encargar de este pedido, la opción a seleccionar obtendrá las variables que, acomodándolas de forma inteligente, nos den su máximo ingreso. Así, si tenemos dos pedidos de remaches diferentes el problema consistirá en acomodar adecuadamente los coeficientes de ingresos de la función objetivo y después armar cuidadosamente las restricciones de nuestro problema.

En el caso en que se requieran varios pedidos del mismo tipo en un mismo tiempo, bastará con sumar la cantidad total de remaches y dividirlo entre el número de días hábiles (en horas hábiles) a ejecutar el pedido. Si se requieren varios pedidos de tipos diferentes no importando si el tiempo

para cada uno de ellos es diferente o igual, el problema se planteará igual que el punto anterior, solo que para cada tipo de remache se formará una columna en nuestro arreglo matricial.

Si tenemos varios pedidos del mismo remache que se nos han ido proporcionando en tiempos diferentes, no habrá problema, se tomarán en cuenta como un pedido independiente el cual habrá que seguir los mismos pasos anteriores para después introducirlo dentro de nuestro sistema. Lo anterior se demuestra pensando que al final de cuentas obtendrá el mismo ingreso que los pedidos análogos, al menos de que ha este cliente se le halla hecho algún descuento en el precio del remache el cual fácilmente será registrado en la localidad que le corresponde dentro de la función objetivo.

Por lo que se refiere a las capacidades de producción de cada máquina, estas quedarán definidas según la máquina de que se trate y tendrá un rango de variación permisible debido a que cada una de ellas se puede ajustar. Se deben de considerar dos aspectos básicos: El primero es que si la cantidad de remaches a producir es la misma que la capacidad de producción el problema radicará en la asignación de las cargas de trabajo para cada máquina en busca del máximo beneficio. Si la cantidad de remaches a producir es menor que la capacidad de producción habrán máquinas que bajarán notablemente su producción hasta llegar a ser cero; de alguna forma estas máquinas serán las que representen menos ingresos a la empresa. Ahora bien, otro aspecto sería si la cantidad de remaches a producir es mayor que la capacidad de producción; en este caso habrá que invertir el sentido de la desigualdad de las restricciones

de capacidad de producción para reconocer cual debe de ser la capacidad requerida para nuestra empresa bajo esta situación. El mismo modelo puede dar interpretación a problemas de toma de decisión en otros aspectos interrelacionados con el planteamiento original.

Se define entonces:

$m$  = No. de máquina a utilizar.

$n$  = Tipo de remache a producir.

$X_{mn}$  = Cantidad a producir del remache "n" por la máquina "m".

$Q_m$  = Capacidad de producción de la máquina "m" en un día (horas hábiles de trabajo)

$C_n$  = Cantidad del remache "n" a producir en un día (horas hábiles de trabajo).

$C_n = (\text{Tamaño total del pedido a producir del remache "n"}) / (\text{Tiempo máximo disponible para la ejecución del pedido en días-horas hábiles de trabajo})$ .

Así:

$$Z_{\max} =$$

$$\begin{aligned}
 & I11X1 + I12X12 + I13X13 + I14X14 + I15X15 + I16X16 + I17X17 + \dots + I1nX1n + \\
 & I21X21 + I22X22 + I23X23 + I24X24 + I25X25 + I26X26 + I27X27 + \dots + 2nX2n + \\
 & I31X31 + I32X32 + I33X33 + I34X34 + I35X35 + I36X36 + I37X37 + \dots + I3nX3n + \\
 & I41X41 + I42X42 + I43X43 + I44X44 + I45X45 + I46X46 + I47X47 + \dots + I4nX4n + \\
 & I51X51 + I52X52 + I53X53 + I54X54 + I55X55 + I56X56 + I57X57 + \dots + I5nX5n + \\
 & \dots \\
 & \dots \\
 & I_{m1}X_{m1} + I_{m2}X_{m2} + I_{m3}X_{m3} + I_{m4}X_{m4} + I_{m5}X_{m5} + I_{m6}X_{m6} + I_{m7}X_{m7} + \dots + I_{mn}X_{mn}
 \end{aligned}$$

Las restricciones de cantidad a producir serán:

$$\begin{aligned}
 B11X11 + B21X21 + B31X31 + B41X41 + B51X51 + B61X61 + B71X71 + \dots + Bm1Xm1 &\leq C1 \\
 B12X12 + B22X22 + B32X32 + B42X42 + B52X52 + B62X62 + B72X72 + \dots + Bm2Xm2 &\leq C2 \\
 B13X13 + B23X23 + B33X33 + B43X43 + B53X53 + B63X63 + B73X73 + \dots + Bm3Xm3 &\leq C3 \\
 B14X14 + B24X24 + B34X34 + B44X44 + B54X54 + B64X64 + B74X74 + \dots + Bm4Xm4 &\leq C4 \\
 B15X15 + B25X25 + B35X35 + B45X45 + B55X55 + B65X65 + B75X75 + \dots + Bm5Xm5 &\leq C5 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 B1nX1n + B2nX2n + B3nX3n + B4nX4n + B5nX5n + B6nX6n + B7nX7n + \dots + BmnXmn &\leq Cn
 \end{aligned}$$

Que si se desea que exista la cantidad exacta, es decir que no hallan sobrantes pero tampoco faltantes, entonces el signo de la desigualdad deberá cambiarse por el "igual que":

$$\begin{aligned}
 B11X11 + B21X21 + B31X31 + B41X41 + B51X51 + B61X61 + B71X71 + \dots + Bm1Xm1 &= C1 \\
 B12X12 + B22X22 + B32X32 + B42X42 + B52X52 + B62X62 + B72X72 + \dots + Bm2Xm2 &= C2 \\
 B13X13 + B23X23 + B33X33 + B43X43 + B53X53 + B63X63 + B73X73 + \dots + Bm3Xm3 &= C3 \\
 B14X14 + B24X24 + B34X34 + B44X44 + B54X54 + B64X64 + B74X74 + \dots + Bm4Xm4 &= C4 \\
 B15X15 + B25X25 + B35X35 + B45X45 + B55X55 + B65X65 + B75X75 + \dots + Bm5Xm5 &= C5 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 B1nX1n + B2nX2n + B3nX3n + B4nX4n + B5nX5n + B6nX6n + B7nX7n + \dots + BmnXmn &= Cn
 \end{aligned}$$

O si se desea tomar una decisión en base a que existan inventarios de producto terminado se podrá tener un sobre exceso en la cantidad a producir demandada, por lo tanto:

$$\begin{aligned}
 B11X11 + B21X21 + B31X31 + B41X41 + B51X51 + B61X61 + B71X71 + \dots + Bm1Xm1 &> C1 \\
 B12X12 + B22X22 + B32X32 + B42X42 + B52X52 + B62X62 + B72X72 + \dots + Bm2Xm2 &> C2 \\
 B13X13 + B23X23 + B33X33 + B43X43 + B53X53 + B63X63 + B73X73 + \dots + Bm3Xm3 &> C3 \\
 B14X14 + B24X24 + B34X34 + B44X44 + B54X54 + B64X64 + B74X74 + \dots + Bm4Xm4 &> C4 \\
 B15X15 + B25X25 + B35X35 + B45X45 + B55X55 + B65X65 + B75X75 + \dots + Bm5Xm5 &> C5 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 B1nX1n + B2nX2n + B3nX3n + B4nX4n + B5nX5n + B6nX6n + B7nX7n + \dots + BmnXmn &> Cn
 \end{aligned}$$

Que para la situación de la empresa estudiada no es el caso, ya que sus técnicas mejoran cada día e implantan los últimos principios en los sistemas de inventarios y, en general, de ingeniería industrial. Uno de ellos menciona que es mejor no tener demasiado producto terminado en inventario. REMHER, de hecho, lo maneja de esta forma fomentando que el producto sea jalado como lo exponen las teorías económicas de "push-pull". Un reflejo fiel de la filosofía japonesa en los sistemas de inventario. Para el efecto, REMHER concreta sus compromisos con las empresas de tal forma que en el momento en que esté saliendo el producto, en ese momento se este recogiendo o enviando a su destino. Este aspecto es importante ya que permite la utilización del espacio en otras áreas que pueden llegar a ser importantísimas en el desarrollo de la empresa.

Por lo que se refiere restricciones de capacidad de producción de la máquina "m" por día (horas hábiles de trabajo) serán:

$$\begin{aligned}
 A_{11}X_{11} + A_{12}X_{12} + A_{13}X_{13} + A_{14}X_{14} + A_{15}X_{15} + A_{16}X_{16} + A_{17}X_{17} + \dots + A_{1n}X_{1n} &<= Q_1 \\
 A_{21}X_{21} + A_{22}X_{22} + A_{23}X_{23} + A_{24}X_{24} + A_{25}X_{25} + A_{26}X_{26} + A_{27}X_{27} + \dots + A_{2n}X_{2n} &<= Q_2 \\
 A_{31}X_{31} + A_{32}X_{32} + A_{33}X_{33} + A_{34}X_{34} + A_{35}X_{35} + A_{36}X_{36} + A_{37}X_{37} + \dots + A_{3n}X_{3n} &<= Q_3 \\
 A_{41}X_{41} + A_{42}X_{42} + A_{43}X_{43} + A_{44}X_{44} + A_{45}X_{45} + A_{46}X_{46} + A_{47}X_{47} + \dots + A_{4n}X_{4n} &<= Q_4 \\
 A_{51}X_{51} + A_{52}X_{52} + A_{53}X_{53} + A_{54}X_{54} + A_{55}X_{55} + A_{56}X_{56} + A_{57}X_{57} + \dots + A_{5n}X_{5n} &<= Q_5
 \end{aligned}$$

$$A_{m1}X_{m1} + A_{m2}X_{m2} + A_{m3}X_{m3} + A_{m4}X_{m4} + A_{m5}X_{m5} + A_{m6}X_{m6} + A_{m7}X_{m7} + \dots + A_{mn}X_{mn} <= Q_m$$

Para finalmente agregar el dominio de las variables a utilizar:

$$\begin{aligned}
 &C11X11 + C12X12 + C13X13 + C14X14 + C15X15 + C16X16 + C17X17 + \dots + C1nX1n > = 0 \\
 &C21X21 + C22X22 + C23X23 + C24X24 + C25X25 + C26X26 + C27X27 + \dots + C2nX2n > = 0 \\
 &C31X31 + C32X32 + C33X33 + C34X34 + C35X35 + C36X36 + C37X37 + \dots + C3nX3n > = 0 \\
 &C41X41 + C42X42 + C43X43 + C44X44 + C45X45 + C46X46 + C47X47 + \dots + C4nX4n > = 0 \\
 &C51X51 + C52X52 + C53X53 + C54X54 + C55X55 + C56X56 + C57X57 + \dots + C5nX5n > = 0 \\
 &\vdots \\
 &Cm1Xm1 + Cm2Xm2 + Cm3Xm3 + Cm4Xm4 + Cm5Xm5 + Cm6Xm6 + Cm7Xm7 + \dots + CmnXmn > = 0
 \end{aligned}$$

El modelo final en conjunto aplicado a REMHER, Remaches y Herramientas, S.A. de C.V. es:

$$\begin{aligned}
 &Z_{max} = \\
 &I11X1 + I12X12 + I13X13 + I14X14 + I15X15 + I16X16 + I17X17 + \dots + I1nX1n + \\
 &I21X21 + I22X22 + I23X23 + I24X24 + I25X25 + I26X26 + I27X27 + \dots + 2nX2n + \\
 &I31X31 + I32X32 + I33X33 + I34X34 + I35X35 + I36X36 + I37X37 + \dots + I3nX3n + \\
 &I41X41 + I42X42 + I43X43 + I44X44 + I45X45 + I46X46 + I47X47 + \dots + I4nX4n + \\
 &I51X51 + I52X52 + I53X53 + I54X54 + I55X55 + I56X56 + I57X57 + \dots + I5nX5n + \\
 &\vdots \\
 &Im1Xm1 + Im2Xm2 + Im3Xm3 + Im4Xm4 + Im5Xm5 + Im6Xm6 + Im7Xm7 + \dots + ImnXmn \\
 \\
 &A11X11 + A12X12 + A13X13 + A14X14 + A15X15 + A16X16 + A17X17 + \dots + A1nX1n < = Q1 \\
 &A21X21 + A22X22 + A23X23 + A24X24 + A25X25 + A26X26 + A27X27 + \dots + A2nX2n < = Q2 \\
 &A31X31 + A32X32 + A33X33 + A34X34 + A35X35 + A36X36 + A37X37 + \dots + A3nX3n < = Q3 \\
 &A41X41 + A42X42 + A43X43 + A44X44 + A45X45 + A46X46 + A47X47 + \dots + A4nX4n < = Q4 \\
 &A51X51 + A52X52 + A53X53 + A54X54 + A55X55 + A56X56 + A57X57 + \dots + A5nX5n < = Q5 \\
 &\vdots \\
 &Am1Xm1 + Am2Xm2 + Am3Xm3 + Am4Xm4 + Am5Xm5 + Am6Xm6 + Am7Xm7 + \dots + AmnXmn < = Qm
 \end{aligned}$$

$$B11X11 + B21X21 + B31X31 + B41X41 + B51X51 + B61X61 + B71X71 + \dots + Bm1Xm1 = C1$$



$$\begin{aligned}
 B_{12}X_{12} + B_{22}X_{22} + B_{32}X_{32} + B_{42}X_{42} + B_{52}X_{52} + B_{62}X_{62} + B_{72}X_{72} + \dots + B_{m2}X_{m2} &= C_2 \\
 B_{13}X_{13} + B_{23}X_{23} + B_{33}X_{33} + B_{43}X_{43} + B_{53}X_{53} + B_{63}X_{63} + B_{73}X_{73} + \dots + B_{m3}X_{m3} &= C_3 \\
 B_{14}X_{14} + B_{24}X_{24} + B_{34}X_{34} + B_{44}X_{44} + B_{54}X_{54} + B_{64}X_{64} + B_{74}X_{74} + \dots + B_{m4}X_{m4} &= C_4 \\
 B_{15}X_{15} + B_{25}X_{25} + B_{35}X_{35} + B_{45}X_{45} + B_{55}X_{55} + B_{65}X_{65} + B_{75}X_{75} + \dots + B_{m5}X_{m5} &= C_5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\dots \\
 &\dots \\
 B_{1n}X_{1n} + B_{2n}X_{2n} + B_{3n}X_{3n} + B_{4n}X_{4n} + B_{5n}X_{5n} + B_{6n}X_{6n} + B_{7n}X_{7n} + \dots + B_{mn}X_{mn} &= C_n
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{14}X_{14} + C_{15}X_{15} + C_{16}X_{16} + C_{17}X_{17} + \dots + C_{1n}X_{1n} &> = 0 \\
 C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + C_{23}X_{23} + C_{24}X_{24} + C_{25}X_{25} + C_{26}X_{26} + C_{27}X_{27} + \dots + C_{2n}X_{2n} &> = 0 \\
 C_{31}X_{31} + C_{32}X_{32} + C_{33}X_{33} + C_{34}X_{34} + C_{35}X_{35} + C_{36}X_{36} + C_{37}X_{37} + \dots + C_{3n}X_{3n} &> = 0 \\
 C_{41}X_{41} + C_{42}X_{42} + C_{43}X_{43} + C_{44}X_{44} + C_{45}X_{45} + C_{46}X_{46} + C_{47}X_{47} + \dots + C_{4n}X_{4n} &> = 0 \\
 C_{51}X_{51} + C_{52}X_{52} + C_{53}X_{53} + C_{54}X_{54} + C_{55}X_{55} + C_{56}X_{56} + C_{57}X_{57} + \dots + C_{5n}X_{5n} &> = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\dots \\
 &\dots \\
 C_{m1}X_{m1} + C_{m2}X_{m2} + C_{m3}X_{m3} + C_{m4}X_{m4} + C_{m5}X_{m5} + C_{m6}X_{m6} + C_{m7}X_{m7} + \dots + C_{mn}X_{mn} &> = 0
 \end{aligned}$$

El cual tiende a adquirir la siguiente forma en función de los coeficientes

$$A_{mn}, B_{mn}, C_{mn}.$$

$$Z_{max} =$$

$$\begin{aligned}
 I_{11}X_{11} + I_{12}X_{12} + I_{13}X_{13} + I_{14}X_{14} + I_{15}X_{15} + I_{16}X_{16} + I_{17}X_{17} + \dots + I_{1n}X_{1n} + \\
 I_{21}X_{21} + I_{22}X_{22} + I_{23}X_{23} + I_{24}X_{24} + I_{25}X_{25} + I_{26}X_{26} + I_{27}X_{27} + \dots + I_{2n}X_{2n} + \\
 I_{31}X_{31} + I_{32}X_{32} + I_{33}X_{33} + I_{34}X_{34} + I_{35}X_{35} + I_{36}X_{36} + I_{37}X_{37} + \dots + I_{3n}X_{3n} + \\
 I_{41}X_{41} + I_{42}X_{42} + I_{43}X_{43} + I_{44}X_{44} + I_{45}X_{45} + I_{46}X_{46} + I_{47}X_{47} + \dots + I_{4n}X_{4n} + \\
 I_{51}X_{51} + I_{52}X_{52} + I_{53}X_{53} + I_{54}X_{54} + I_{55}X_{55} + I_{56}X_{56} + I_{57}X_{57} + \dots + I_{5n}X_{5n} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\dots \\
 &\dots \\
 I_{m1}X_{m1} + I_{m2}X_{m2} + I_{m3}X_{m3} + I_{m4}X_{m4} + I_{m5}X_{m5} + I_{m6}X_{m6} + I_{m7}X_{m7} + \dots + I_{mn}X_{mn}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0X_{11} + 0X_{12} + 0X_{13} + 0X_{14} + 0X_{15} + 0X_{16} + 0X_{17} + \dots + 0X_{1n} &= Q1 \\
 0X_{21} + 1X_{22} + 0X_{23} + 0X_{24} + 0X_{25} + 0X_{26} + 0X_{27} + \dots + 0X_{2n} &= Q2 \\
 0X_{31} + 0X_{32} + 1X_{33} + 0X_{34} + 0X_{35} + 0X_{36} + 0X_{37} + \dots + 0X_{3n} &= Q3 \\
 0X_{41} + 0X_{42} + 0X_{43} + 1X_{44} + 0X_{45} + 0X_{46} + 0X_{47} + \dots + 0X_{4n} &= Q4 \\
 0X_{51} + 0X_{52} + 0X_{53} + 0X_{54} + 1X_{55} + 0X_{56} + 0X_{57} + \dots + 0X_{5n} &= Q5
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{cccccccccccc}
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
 \end{array}$$

$$0X_{m1} + 0X_{m2} + 0X_{m3} + 0X_{m4} + 0X_{m5} + 0X_{m6} + 0X_{m7} + \dots + 1X_{mn} = Qm$$

$$\begin{aligned}
 1X_{11} + 1X_{21} + 1X_{31} + 1X_{41} + 1X_{51} + 1X_{61} + 1X_{71} + \dots + 1X_{m1} &= C1 \\
 1X_{12} + 1X_{22} + 1X_{32} + 1X_{42} + 1X_{52} + 1X_{62} + 1X_{72} + \dots + 1X_{m2} &= C2 \\
 1X_{13} + 1X_{23} + 1X_{33} + 1X_{43} + 1X_{53} + 1X_{63} + 1X_{73} + \dots + 1X_{m3} &= C3 \\
 1X_{14} + 1X_{24} + 1X_{34} + 1X_{44} + 1X_{54} + 1X_{64} + 1X_{74} + \dots + 1X_{m4} &= C4 \\
 1X_{15} + 1X_{25} + 1X_{35} + 1X_{45} + 1X_{55} + 1X_{65} + 1X_{75} + \dots + 1X_{m5} &= C5
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{cccccccccccc}
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
 \end{array}$$

$$1X_{1n} + 1X_{2n} + 1X_{3n} + 1X_{4n} + 1X_{5n} + 1X_{6n} + 1X_{7n} + \dots + 1X_{mn} = Cn$$

$$X_{mn} >= 0$$

## CONCLUSIONES

---

Uno de los problemas más frecuentes a enfrentar en el área de producción de las empresas es el de mantenerse instantáneamente en los máximos ingresos. En la práctica es usual escuchar que esto se ha logrado bajo la experiencia o en la aplicación de ensayo, prueba y error, sobre todo, cuando estamos haciendo referencia de medianas, pequeñas y microempresas. La razón por lo cual sucede parte de la idea de que los operarios no tienen el tiempo o la preparación adecuada para dedicarse al estudio a fondo del problema e interpretarlo mediante un modelo matemático que sea factible de programarse. Los resultados son inmediatos ya que se captarían una importante cantidad de ingresos aún no atendidos bajo una inteligente asignación de los recursos y distribución de las capacidades de la empresa.

La importancia del modelo queda definida en la utilidad que puede llegar a prestar a la empresa. Es importante remarcar que el sistema es sumamente flexible lo que permite que cualquier empresa que presente un modelo similar, no importante el producto de que se trate, puede llegar a aplicarlos sin problema alguno. Así como hicimos referencia en el capítulo III y V de esta tesis, la empresa estudiada cuenta con un total de 22 máquinas capaces de producir una amplia variedad de remaches

definidos por las especificaciones deseadas por el cliente. Para la ejecución de nuestro modelo fue necesario realizar 17 corridas de prueba en busca de la refinación del mismo; una vez realizadas se obtuvieron datos reales que arrojaran resultados prácticos para la empresa; de lo anterior se deducieron varias ventajas que presenta el modelo a tratar:

- ▣ 1. Las variables  $X_{mn}$  buscan la cantidad de remaches del tipo "n" a producir por la máquina "m" que optimicen la función objetivo ingresos.
- ▣ 2. De esta forma "m" representarán los renglones del arreglo indicando el número de máquina a utilizar, mientras que "n" representará el pedido de un remache específico.
- ▣ 3. El número de máquinas no necesariamente debe de ser igual al número de pedidos. En la práctica se observa que un total de 22 máquinas atienden más de 60 pedidos en un mes. Dentro de este aspecto menciono que los pedidos no necesariamente tienen que ser todos ellos de remaches diferentes, pueden ser remaches del mismo tipo lo cual ocasionará únicamente que la aportación del ingreso otorgado por dicho tipo de remache producido sea el mismo en la localidad correspondiente dentro de la función objetivo.
- ▣ 4. Otra conclusión que se deduce de las observaciones radica en que los pedidos pueden realizarse a cualquier tiempo con cualquier fecha de entrega. En efecto, no importa el momento en que se realicen, nuestro sistema es capaz de introducir el nuevo pedido tomándolo en cuenta en la ejecución de sus cálculos para obtener el máximo ingreso. Se observa entonces que el sistema es flexible

y adaptable a las nuevas condiciones y aún más, otorga el máximo beneficio instantáneo determinando que cantidad y de que producto debe producir cada máquina.

- 5. Los beneficios otorgados por la producción del remache "n" en la máquina "m" tienen libertad a ser distintos considerando de esta forma la antigüedad, mantenimiento, capacidad de producción, tecnología, etc. de cada una de las máquinas. Esta visto que en función de las variables ya citadas una máquina puede producir con mayor o menor costo que las otras y por lo tanto aumentar o disminuir los ingresos que genere; para considerar lo anterior la función objetivo incluye estas modificaciones lo cual hace más sensible el sistema en la aplicación de las variables.
- 6. El sistema puede considerar sobrantes, faltantes y cantidad exacta del producto terminado. En nuestro caso, REMHER a estudiado las ideas más recientes de ingeniería industrial que se producen en la industria y ha tratado de "jalar el producto" de manera que todo lo que se produce ya este vendido, de esta forma existen prácticamente cero inventarios de producto terminado ya que en el momento en que se termina el proceso de fabricación está siendo llevado el pedido a su lugar de origen o bien recogido en la misma empresa según sea el acuerdo. De ahí que las restricciones de cantidad a producir consideren siempre el signo del igual, pero tiene flexibilidad de cambio a menor que, mayor que, según sea el caso de la empresa o la simulación que se desee realizar, tema que se expuso en el capítulo V ampliamente.

- 7. Es posible el realizar un análisis de sensibilidad posterior a la ejecución del programa. En este caso lo que se está definiendo son los límites inferiores y superiores posibles de llevar a cabo y los cuales se someten a juicio de las posibilidades de la empresa. De esta forma, al incrementar las restricciones de cantidad a producir y las de capacidad de producción estaremos incrementando la función de ingresos. Análogamente funciona el anterior sistema cuando se requiere disminuir las variables por cualquier causa. Con el análisis de sensibilidad es posible obtener posibles alternativas a seguir en la toma de decisiones que pueden llegar a involucrar el aumento de la capacidad de producción reflejado en el ajuste de las máquinas, adquisición de equipo, renta del mismo, etc. por ejemplo. Claro está que las alternativas y los posibles cambios en las variables de entrada deben de someterse a una evaluación posterior para su aplicación.

El sistema obtenido trabaja en varios programas. LINDO (Linear, Interactive, Discrete Optimizer) de la Col Business Admin, Georgia ST U , resuelve problemas de programación lineal entera y cuadrática con admisión en forma natural. Este es uno de los programas utilizados como software en la resolución de nuestro problema, en general, LINDO presenta una matriz que puede llegar a consistir hasta de 119 columnas y 59 renglones como máximo aunque existen versiones del mismo expandidas. Otro de los programas clásicos en la aplicación del sistema es el de IIE.BAS que también ejecuta el análisis de sensibilidad con la diferencia de que no menciona el incremento o decremento de las variables sino que da el resultado total aumentado o disminuido en las

variables, además, su capacidad de resolución es menor a la del LINDO ya que solo puede llegar a trabajar hasta con 27 restricciones incluyendo la función objetivo. Dentro del estudio de los resultados obtenidos por estos paquetes se observó que en algunas ocasiones es preferible el sacrificar aportaciones de algunas de la variables para que obtengamos el máximo beneficio en conjunto. No hay que olvidar que estos cambios o posibles modificaciones son provocadas por las restricciones de capacidad, cantidad a producir, ingresos, tipo de máquina a utilizar, etc.

Es realmente interesante el observar como las empresas se desarrollan día con día, y es muy satisfactorio poder aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en el entendimiento de sus actividades. Las empresas en México buscan el actualizarse y modernizarse, teniendo de esta forma mayor número de armas para enfrentar el futuro; una sabia preocupación por mejorar los sistemas de producción, distribución, seguridad, etc. es lo que las hace mas competitivas, teniendo para el efecto gran variedad de instrumentos que permitan el entender sus procedimientos para maximizar los beneficios asi como lo es la Investigación de Operaciones.

## BIBLIOGRAFIA

---

PLOSSL, George W.  
CONTROL DE LA PRODUCCION Y DE INVENTARIOS  
PRINCIPIOS Y TECNICAS  
2a. EDICION  
PRENTICE HALL  
MEXICO 1987

NAMAKFOROOSH, Mohammad Naghi  
INVESTIGACION DE OPERACIONES  
INTERPRETACION DE MODELOS Y CASOS  
2a. EDICION  
ED. LIMUSA  
GRUPO NORIEGA EDITORES  
MEXICO 1991

SAIENI  
INVESTIGACION DE OPERACIONES  
METODOS Y PROBLEMAS  
8a. EDICION  
ED. LIMUSA  
MEXICO 1982

DAVIS, Roscoe  
PATRICK G. MCKEOWN  
MODELOS CUANTITATIVOS PARA ADMINISTRACION  
ED. GRUPO EDITORIAL IBEROAMERICA  
MEXICO 1986

ARYA, Jagdish  
ROBIN LARDNER  
MATEMATICAS APLICADAS A LA  
ADMINISTRACION Y A LA ECONOMIA  
ED. PRENTICE HALL  
MEXICO 1987



GROSSMAN, Stanley I.  
ALGEBRA LINEAL  
ED. GRUPO EDITORIAL IBEROAMERICA  
2a. EDICION  
MEXICO 1988

LEVIN, Richard I.  
ESTADISTICA PARA ADMINISTRADORES  
ED. PRENTICE HALL  
2a. EDICION

AVNER, Sydney H.  
INTRODUCCION A LA METALURGIA  
FISICA  
ED. MC GRAW-HILL  
2a. EDICION  
MEXICO 1988

JENSEN  
DIBUJO Y DISEÑO DE  
INGENIERIA  
ED. MC GRAW-HILL  
MEXICO 1988

OLEA F., Pedro  
MANUAL DE TECNICAS DE  
INVESTIGACION DOCUMENTAL  
EDITORIAL ESFINGE  
17a. EDICION  
MEXICO, 1988

DEUTSCH FASTENER CORPORATION  
2794206  
DEYTSCHG ZIP-LOC FASTENERS  
MINIATURE AND STANDARD SIZES

SOUTHCO INC  
8399173  
DRIVE (BLIND) RIVETS

AMERICAN NATIONAL STANDARD  
ANSI B18.1.3-1972  
REVISION DEL B18.4-1960  
LARGE RIVETS  
PUBLICADO POR:  
THE AMERICAN SOCIETY OF  
MECHANICAL ENGINEERS

**ALLFAST FASTENING SYSTEMS INC**  
0519699  
ALLFAST AEROSPACE BLIND RIVETS  
ALLFAST AEROSPACE SOLID RIVETS

**AMERICAN NATIONAL STANDARD**  
B18.1.1-1972  
REVISION DEL B18.1-1965  
SMALL SOLID RIVETS  
PUBLICADO POR:  
THE AMERICAN SOCIETY OF  
MECHANICAL ENGINEERS

**SAE STANDARD**  
BLIND RIVETS  
BREAK MANDREL TYPE  
SAE J1200

**AMERICAN SOCIETY FOR  
TESTING AND MATERIALS**  
ANNUAL BOOK OF ASTM  
DESIGNATION: 1 502-90  
D-11

**INFOTEC**  
CONSULTA INDUSTRIAL SOBRE  
PROCESOS DE FABRICACION DE  
REMACHES FERROSOS Y NO FERROSOS  
SAN FERNANDO NO. 37  
TLALPAN 14050  
MEXICO D.F.

**CAMARA NACIONAL DE LA  
INDUSTRIA DE TRANSFORMACION**  
ASESORIA DE CONSULTA INDUSTRIAL  
PROCESOS DE FABRICACION DE  
REMACHES  
AV. SAN ANTONIO NO. 256  
COL. AMPLIACION NAPOLES  
DELEGACION BENITO JUÁREZ  
03849  
MEXICO D.F.

CANACINTRA MEXICO  
MACRO ANALISIS  
LA ECONOMIA HOY  
LA NUEVA CULTURA INDUSTRIAL

INSTITUTO MEXICANO DE  
EJECUTIVOS DE FINANZAS AC  
ESTUDIO DE LIQUIDEZ DE LA ECONOMIA  
MUNDIAL

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
TECNO INDUSTRIA  
VISION EMPRESARIAL DEL MEXICO NUEVO  
MEXICO DICIEMBRE 1991

REMHER  
REMACHES Y HERRAMIENTAS, S.A. DE C.V.  
ASESORIA DE LA TESIS  
ING. FERNANDO GUILLEMIN MARTIN DEL CAMPO  
GERENTE GENERAL  
DIRECTOR DE TESIS  
CATEDRATICO UNIVERSITARIO