



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

## LA MANUFACTURA CELULAR

### TRABAJO ESCRITO VÍA CURSO DE EDUCACIÓN CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A :

JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ LEÓN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Jurado asignado:

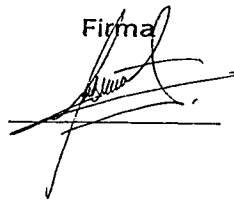
Presidente	Prof. Julio Ricardo Landgrave Romero
Vocal	Prof. Vladimir Estivil Riera
Secretario	Prof. Mauricio Martínez Moro
1er. Suplente	Prof. Maria del Rocío Cassaigne Hernández
2º. Suplente	Prof. Sara Elvia Meza Galindo

Sitio donde se desarrollo el tema: Toluca, Estado De México

Asesor:

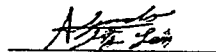
Mauricio Martínez Moro

Firma

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mauricio', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Sustentante:

José Alfredo Martínez León

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Alfredo Martínez León', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

INDICE	Pagina
1. INTRODUCCIÓN	1
2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA MANUFACTURA CELULAR.	
2.1. <u>Definiciones</u>	2
2.2. <u>Tecnología de Grupos y Manufactura Celular</u>	3
2.3. <u>Ventajas de la Manufactura Celular</u>	4
2.4. <u>Desventajas de las Células de Manufactura</u>	6
2.5. <u>Técnicas para la Formación de Células</u>	7
2.6. <u>Modelo para la Formación de la Célula</u>	8
2.7. <u>Planificación del Layout para Manufactura Celular</u>	11
2.8. <u>Control de Calidad en la Manufactura Celular</u>	14
2.9. <u>Costos de la Manufactura Celular</u>	14
2.10. <u>Sistemas de Manufactura Celular Vinculados (L-MCS)</u>	15
3. DISCUSIÓN	17
4. CONCLUSIONES	18
5. ANEXO I	19
6. BIBLIOGRAFÍA	22

... a la Dirección General de Bibliotecas de ...  
 ... a difundir en formato electrónico e impreso el  
 ... interior de mi trabajo recepcional

NOMBRE: José Alfredo  
Martínez León

FECHA: 18- Septiembre - 2002

FIRMA: [Firma]

## 1. INTRODUCCIÓN

Para comprender que es la manufactura celular se deben definir algunos conceptos que involucran al tema que se desarrollará. Se realizará un pequeño estudio histórico de cómo y quien inició esta filosofía en primero en Rusia y después en el occidente, cuáles son los factores que determinan las motivaciones para la implementación del sistema, que objetivos son los que se pretenden alcanzar con la implementación de la manufactura celular, esta aplica para procesos por lotes o discontinuos.

Necesitamos conocer cuales son los atributos y características necesarias y favorables que debe tener una empresa para producir enfocada a una célula. Cuáles son las empresas ideales para utilizar este sistema de producción.

Conoceremos qué ventajas se obtienen al implementar la manufactura celular en todos los departamentos de una empresa, también conoceremos algunas desventajas al utilizar este sistema de producción, así como los problemas potenciales que se presentan al implementarla.

Solo se mencionarán algunos algoritmos de matriz para la formación de una célula de manufactura sin profundizar ya que este tema no es parte del estudio, pero si se profundizará en el método de formación de células de manufactura a través de un proceso de 6 pasos, y la planificación de layout de la manufactura celular.

Se tocaran algunos aspectos de calidad y costos de este sistema de manufactura y como se relaciona este sistema con la producción esbelta.

El objetivo del presente trabajo está enfocado a dar una idea qué son y cómo se implementan estos sistemas de manufactura celular, conociendo los pros y contras de este sistema, ya que considero que la administración y/o la alta dirección no debe implementar sistemas solamente porque es lo más novedoso, ya que al realizar esto la mayoría de los trabajadores solo lo ven como una carga más a sus labores y por ende no se involucran completamente en la implementación de éste y de otros sistemas de producción y calidad.

## 2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA MANUFACTURA CELULAR

### 2.1. Definiciones

Iniciaremos el presente trabajo con algunas definiciones que me parecen interesantes y vitales para el mismo.

Tecnología de grupos: El concepto original surgió de Mitrofanov (1966) y dice que es un método de manufactura de piezas por la clasificación de estas partes dentro de un grupo y aplicándolo subsecuentemente a cada grupo de operaciones tecnológicas similares. <sup>(2)</sup>

El concepto moderno nos dice: La comprensión de muchos problemas es similar y que cuando los agrupamos una simple solución puede ser encontrada para todos ellos ahorrando tiempo y esfuerzo. (Shunk, 1987)<sup>(3)</sup>

Manufactura Celular: Visión de los procesos de manufactura en la cual el equipo y las estaciones de trabajo son combinadas para facilitar la producción de pequeños lotes y mantener flujos de producción continuos. Todas las operaciones necesarias para producir pequeños lotes y mantener flujos de producción continuos. Todas las operaciones necesarias para producir un componente o el subensamblaje de partes son realizadas cerca para permitir la retroalimentación entre operadores ante problemas de calidad o cualquier otro. Los trabajadores en la manufactura celular están tradicionalmente entrenados para funciones diversas y por lo tanto son capaces de atender diversas interrogantes. Me parece la definición más completa. (<http://spice.gob.mx/siem2000/indica/conceptos/glosa.asp>)

Work in progress WIP: Es inventario de seguridad que se mantiene debida a los diferentes rangos de consumo dentro del proceso para evitar paros de maquina.

Prácticas de cambio rápido: Variedad de técnicas, tales como SMED (Cambio de útiles en minutos de un solo dígito) que permiten reducir e incrementar más frecuentemente los cambios de modelos / tiempos de arranque (setups), mejorando la flexibilidad reduciendo el tamaño de lotes y los ciclos de tiempo para la manufactura. ([http://www.lean-6sigma.com/id47\\_m.htm](http://www.lean-6sigma.com/id47_m.htm))

Distribución justo a tiempo (JIT): Distribución de insumos, partes y accesorios en pequeños lotes y sobre un esquema o flujo continuo ajustado a las necesidades del sistema de producción.

Diseño y manufactura asistido por computadora (CAD/CAM): Sistema de diseño de productos por computadora. Muchos sistemas capturan la geometría y otras características para la administración de datos para ingeniería, productividad, análisis de costos y desempeño. Asimismo generan datos e instrucciones para máquinas de diseño de control numérico por computadora.

## 2.2. Tecnología de Grupos y Manufactura Celular<sup>(1, 2)</sup>

La tecnología de grupos fue propuesta inicialmente por Mitrofanov en 1966, John Burbidge la introdujo en occidente en 1975,

La manufactura celular es una aplicación de los conceptos de tecnología de grupos hacia la reconfiguración de la fabrica, en cuanto al manejo del material, supone un agrupamiento de máquinas, proceso y gente dentro de una célula responsable de fabricar o ensamblar partes y productos similares, el arreglo de la tecnología de grupos cuando es procesada dentro de una célula el tiempo de transporte y la distancia es mínima, se ha encontrado que en una industria que produce 2 productos con 11 ensambles las partes principales viajan un total de 64 Km. En contraste cuando las máquinas se colocan en una célula la distancia se reduce a solo 6 Km.

La tecnología de grupos ocasionará una disminución del work-in-progress y en los inventarios de seguridad, debido a la gran variedad de arranques y cambios de partes que se producen en las plantas, usualmente la producción esta basada en el tamaño económico del lote. Este es una cantidad predeterminada con base a consideraciones del tiempo de arranque y de los costos. Al incrementarse el tamaño del lote los costos por inventario se elevan también. En la tecnología de grupo sin embargo los tiempos de arranque y/o cambios, pueden ser reducidos y esto permite hacer pequeños lotes económicos. Los lotes pequeños suavizan el flujo de producción y permite encontrar el tamaño ideal del lote, este es un principio de la filosofía justo a tiempo, pero para la tecnología de grupos debe ser un prerrequisito.

La tecnología de grupos y la manufactura celular es una estrategia de administración. Esta afecta a todas las áreas de la compañía y su impacto en la productividad no puede ser subestimada. Para implementar este sistema de producción con éxito, se debe comprender el impacto en el desempeño del sistema, el funcionamiento de los diferentes departamentos y la tecnología que nos ayude en la implementación. Si la introducción de este sistema es buena traerá consigo beneficios económicos y satisfacción de los trabajadores.

La manufactura enfocada a una célula es determinada por los atributos de la familia de partes que se van a producir, una definición mas cerrada para este concepto es determinada primordialmente por la variedad de procesos incluidos en la célula y/o la variedad de partes asignada a una célula.

Los sectores de la industria en donde los conceptos de la manufactura celular son ideales son los siguientes, el requerimiento principal es la distinción de sus partes y productos que pueden ser fabricados utilizando procesos de varias etapas.

- Producción de maquinaria y de herramientas.
- Equipo para la agricultura, construcción hospitales.
- Equipo medico.
- Industria automotriz y de motores.

- Equipo químico.
- Industria de empaque.
- Productos electrónicos.

Debido a que esta lista no es limitativa, la manufactura celular puede ser implementada en cualquier ambiente de la producción en donde uno o más productos pueden necesitar la misma combinación de procesos y recursos, las condiciones favorables para la introducción de este sistema serían:

Que la alta dirección este convencida que este sistema es la dirección correcta para la compañía, tener una fuerza de trabajo experta y flexible, pequeña variedad de partes en los productos ensamblados, tener definidas y establecidas claramente las familias de las partes, equipos con bajos tiempos de arranque y/o cambios, una departamento de mantenimiento eficiente y pocas fallas en el equipo.

Las características representativas de una célula en manufactura son los siguientes, sin embargo estos pueden cambiar dependiendo del grado de automatización, las políticas y ambiente de cada compañía:

Agrupación de máquinas disimilares bajo el concepto de tecnología de grupo, dedicadas a manufacturar una familia de partes.

El número de personas que trabajan esta entre 1 y 6 con centros de trabajo que varían de 1 a 10 y están concentrados dentro de una nave dentro de un área específica con entradas y salidas.

Las máquinas están ordenadas en forma de U para simplificar y minimizar el movimiento del material.

Casi todos los trabajos son completados dentro de la célula, aunque algunos tengas que realizarse fuera de ella.

Los materiales, herramientas y los documentos para cada trabajo se encuentran dentro de su propia área.

La celda tiene definidos el ensamble o las secuencias de producción y las rutas de los componentes. La forma de trabajo, el soporte, es proporcionada por los operadores de la célula, así como también son responsables de la inspección y de los registros de trabajo.

Los objetivos de producción y los niveles de la mano de obra son administrados junto con los operadores de la célula.

El líder fija la administración en consenso con los operadores de la celda.

### 2.3. Ventajas de la Manufactura Celular<sup>(1)</sup>

Los beneficios significantes de a través del uso de células han animado a muchas empresas a implementar las células de manufactura, las ventajas de las células de manufactura se pueden clasificar en dos categorías, Ventajas estratégicas y ventajas en el piso del departamento tal como se muestra en la tabla 1.

Las ventajas tangibles de la manufactura celular debido a la proximidad de todas las máquinas requeridas para producir una familia de partes. Se reduce la distancia total que debe viajar, la reducción en los



tiempos de carga entre operaciones sucesivas reduce el nivel promedio del trabajo en progreso (WIP). Partes en la familia que tengan una secuencia de operación similar o idéntica pueden ser programados consecutivamente a través de la célula para minimizar los tiempos de cambio y arranque. El sistema de control de calidad se simplifica ya que los operadores de las maquinas en la célula proporcionan retroalimentación sobre el defectivo y la calidad de las diferentes partes. Finalmente la manufactura celular es el primer paso para implementación de nuevas tecnologías de manufactura tales como diseño y manufactura asistido por computadoras CAD/CAM, sistemas flexibles de manufactura FMS, planeación de procesos asistidos por computadora CAPP e ingeniería concurrente CE. Esto es debido a que las células son la forma natural de los sistemas autónomos de manufactura y que pueden ser automatizados y controlados por medio de una computadora.

Las grandes ventajas intangibles de las células de manufactura son: primero al implementar estas considerando que la filosofía de administración enfoca sus esfuerzos al trabajo en equipo y promueve la competitividad dentro de la organización. Segundo la manufactura celular puede conducir a elevar la motivación y la moral al obtener una mayor satisfacción en el trabajo, y finalmente es el camino para la automatización.

Tabla 1.

Ventajas estratégicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entregas a tiempo</li> <li>Mejora en la respuesta</li> <li>Reducción de inventarios</li> <li>Mejoras en la calidad</li> <li>Mejoras en el flujo de los trabajos</li> <li>Incrementos en la flexibilidad operacional</li> <li>Mejor utilización de equipo</li> <li>Mejor uso de la mano de obra especializada</li> <li>Mejoras en le flujo de información</li> </ul>
Ventajas en el área de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se reduce el WIP se termina con bajos inventarios</li> <li>Se reduce el manejo y la distancia de viaje de las partes</li> <li>Eliminación de operaciones que no agregan valor</li> <li>Se incrementa la capacidad por la reducción de los tiempos de arranque / cambios (setup´s)</li> <li>Mejoras en la calidad por la reducción del desperdicio y variaciones en el proceso debido a mejores monitores de las operaciones</li> <li>Se crean equipos autónomos de trabajadores que se administran sus células</li> <li>Proporciona listas de información y de capacidad de producción adecuadas al personal de ventas y marketing.</li> <li>Crea centros de costos sensibles alrededor de las actividades y salidas de cada celda</li> <li>Ayuda a introducir la manufactura de justo a tiempo JIT</li> <li>Simplifica la producción y la planeación, control de los ensambles, balancea las cargas de trabajo y los análisis de requerimientos de capacidad</li> <li>Hace exactos los análisis de requerimientos de mano de obra y maquinaria</li> </ul>

## 2.4. Desventajas de las Células de Manufactura<sup>(1)</sup>

La implementación de células de manufactura podría tener algunas desventajas con respecto a los layout funcionales o de producto, éstas desventajas pueden originarse del diseño característico de una celda y de las limitaciones de los métodos usados para diseñar y evaluar las celdas. La implementación puede llevar a una gran inversión debido a que algunas máquinas necesitan duplicarse para crear celdas independientes. Se puede argumentar que pierde flexibilidad con respecto a los layout funcionales y de proceso. Estas desventajas están resumidas en la tabla 2.

Tabla 2.

Desventajas de las células	Se necesita una inversión alta en instalación y relocalización de maquinaria Carencia de flexibilidad en cambios de la paleta de productos, cambios en el manejo de la demanda, mejoras en tecnologías de manufactura, cambios en diseños de partes y planes de proceso. desequilibrio en la utilización de maquinaria y mano de obra potenciales retardos abrumadores debido a paros de maquinaria, ausentismo de trabajadores, etc.
Problemas asociados en la implementación con los métodos usados para la formación de células	Falta de una buena comprensión de los métodos de formación de células. La recolección y análisis de los datos consume mucho tiempo. Una importante dificultad debida a que los factores de dinámica operacional pueden influir en la localización de la maquinaria, la asignación de partes a una familia y al layout de la célula.

En la practica se ha observado que los requerimientos de operación y planeación de los sistemas de manufactura celular han mejorado la eficiencia de operación. Algunas de estas mejoras:

- El inventario del WIP (8 a 80%)
- Manejo de materiales (10 a 83%)
- Satisfacción del trabajo (15 a 50%)
- Las instalaciones (10 a 85%)
- Tiempos de arranque (setups) (2 a 95%)
- Calidad ( 5 a 90 %)
- Espacio necesitado (1 a 85%)
- Las primeras calidades (10 a 75%)

Los principales motivadores para la implementación de sistemas de células de manufactura son el reducir el tiempo de ciclo de los productos, mejorar la calidad de los productos, reducir el WIP, reducir el desperdicio y el reproceso, reducir el manejo de los materiales, mejorar el trabajo en equipo. Estos son algunos de los motivadores principales aunque existen otros.

Los principales problemas en la implementación y diseño de las células en la práctica son: la localización de las máquinas existentes, las necesidades de adiestramiento de los empleados, la resistencia al cambio de los operadores y administradores, la identificación de grupos de máquinas y familias de partes etc.

En la práctica también se ha observado que al delegar y dar el control a los trabajadores estos se hacen responsables de la calidad y la productividad.

## 2.5. Técnicas para la Formación de Células<sup>(2)</sup>

Uno de los más graves problemas en cambiar a un layout celular a partir de un layout existente en el problema de agrupar partes dentro de una familia y existen bastantes métodos para agrupar partes.

El más sencillo es el llamado METODO DE INSPECCION VISUAL, es el menos caro y más inexacto, la clasificación de las partes dentro de una familia se realiza por la observación y en criterios generales.

Se deben utilizar matrices para agrupar maquina - componente, en las cuales la más sencilla es la construcción de bloques en diagonal, por ejemplo si tenemos el siguiente arreglo en el que las columnas son las máquinas y los renglones las partes tendríamos la siguiente matriz, en donde el 1 significa que esa componente requiere a esa maquina y el 0 no la requiere.

Maquina/parte	1	2	3	4	5
1	1	0	1	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	0	0	1	0
4	0	0	1	0	1

Matriz máquina - componente

Al reacomodar la matriz intercambiando renglones y columnas nos quedaría de la siguiente manera:

Maquina/parte	1	4	3	5	2
1	1	0	1	0	0
3	1	1	0	0	0
2	0	0	1	1	1
4	0	0	1	1	0

Matriz máquina - componente

Este es el acomodo casi perfecto en las descomposiciones de una matriz, ya que en la realidad es muy difícil obtener un agrupamiento perfecto. Los objetivos para reacomodar una matriz son: tener el mínimo de 0's dentro de los boques en diagonal y tener el mínimo numero de 1's fuera de los boques en diagonal.

Otro común es ANÁLISIS DEL FLUJO DE PRODUCCIÓN (PFA), este fue introducido por Burbidge (1971, 1973) y se define como un método para formar familias de partes y grupos de maquina por medio del análisis de los datos del proceso de producción y las rutas de las partes de los productos. (Anexo I)

Los algoritmos usados para la manipulación de matrices, los cuales solo se nombraran y se mencionara quien fue el que los desarrollo, ya que es muy extenso explicarlos y no es parte del enfoque de este trabajo.

Algoritmo de enlace de energía (BEA) McCormick, Schweitzer y White, 1972  
Agrupamiento completo por orden (ROC) King, 1980. (ROC2), 1982  
ROC modificado (MODROC), Chandrakesaran, Rajagopalan, 1986  
Algoritmo de agrupamiento directo (DCA) Chan y Milner, 1982  
Agrupamiento de enlace simple, completo y promedio (SLC) Mcauley, 1972  
Agrupamiento celular lineal (LCC) Wei y Kern, 1989  
Modelo de la P- media. Kusiak, 1987

Existen modelos de formación de células usando técnicas de investigación recientes estos son 3, el primero es el del simulacro endurecido (simulated annealing), en este el crédito esta compartido ya que en el mismo año (1994) fue presentado por Chen y Srivastava y por Adil, Rajamani y Strong. El segundo es el de algoritmos genéticos (GA's), desarrollado por Holland (1992) y el último es el de redes neuronales.

## 2.6. Modelo para la Formación de la Célula<sup>(1)</sup>

Una vez que se describen las técnicas de formación de células, el paso siguiente es una secuencia de etapas para el diseño del proceso en una célula, las etapas son las siguientes, recolección de datos, confirmar la consistencia de los datos, proyección y alteración de los datos, propuesta de células, búsqueda de consenso y proceso de formación final de la célula:

### Recolección de datos.

El inicio de una célula comienza con la recolección de datos, para el diseño de una célula se deben conocer muy bien los datos representativos de los artículos, centros de trabajo y las rutas.

El archivo de los artículos debe contener: Número del artículo. El texto que lo describe. La cantidad anual que se produce en la celda. El tamaño del lote. El tamaño del lote de transferencia es la cantidad que se transfiere entre 2 estaciones de trabajo debe ser igual o menor al lote de transferencia. El número de ordenes de producción es la cantidad anual entre el tamaño del lote. El número de ordenes de transferencia es la cantidad anual entre el lote de transferencia. La carga anual que es la suma de las cargas de las rutas operacionales de cada artículo

El archivo de los centros de trabajo debe contener: Número de centro de trabajo. La descripción del centro de trabajo. El número de centros de trabajo que son iguales. La capacidad teórica anual de cada centro de trabajo. Las perdidas de capacidad de producción que es el porcentaje de tiempos muertos por paros y cortes en la producción. La capacidad real que es la capacidad teórica por el número de centros de trabajo iguales menos el porcentaje de perdidas de capacidad. La carga anual que es la suma de la carga de operaciones anual utilizando la ruta de cada centro de trabajo. La capacidad utilizada es la división entre la carga anual y la capacidad real.

El archivo de las rutas debe contener: El número del artículo. Las operaciones en serie que se le realizan a cada artículo. El número del centro de trabajo. El tiempo de arranque es el tiempo necesario para ajustar las máquinas por cambio de lote. El tiempo de corrida que es el tiempo necesario para que la operación de cada artículo sea efectuada. Y La carga anual de operación que es un tiempo que corresponde al tiempo de corrida multiplicado por la cantidad anual del artículo más la multiplicación del tiempo de arranque por el número de ordenes de producción.

Todos estos datos normalmente se extraen de la base de datos para el control de la producción, debido a que el tamaño de estos archivos depende de la complejidad de la industria, no se recomienda obtenerlos manualmente ya que sería muy pesado y tedioso lo mejor es obtenerlos por medio de una computadora.

#### **Confirmación de la consistencia de los datos**

Antes de analizar los artículos, centros de trabajo, y rutas, siempre es necesario que se asegure que los datos son consistentes de estos. Debido a que algunos pueden ser falsos, incompletos. Algunos ejemplos pueden ser: Lote de transferencia más grande que el tamaño del lote, el artículo no tiene ruta, el tamaño de lote es más grande que la producción anual, existen centros de trabajo que no son usados en una ruta, no se reporto la carga, la capacidad en los centros de trabajo.

#### **Proyección de datos**

La proyección de los datos elimina del estudio artículos y centros de trabajo que no representan un problema tales como los artículos y centros de trabajo con una baja carga anual, las operaciones que se maquinan, artículos obsoletos. Algunos centros de trabajo pueden ser eliminados debido a que el costo de mover algunas maquinas es muy alto, algunas maquinas producen mucho ruido o deben ser protegidas contra el polvo y la temperatura, estas máquinas rara vez están incluidas dentro de una célula. Las rutas sencillas se pueden integrar a futuras células y también se pueden eliminar del estudio.

Esta es una etapa muy importante ya que se deben validar y realizar una proyección para pasar a la siguiente etapa.

#### **Propuesta de la célula.**

Con base a las técnicas de formación de una célula a través de los algoritmos ya citados. Según la Conformación del rango de los movimientos intercelulares el número y tamaño de las células pueden variar. Aunque este es un vínculo entre el tipo de datos y el análisis de objetivos, se debe aconsejar buscar un gran número de soluciones de acuerdo a los criterios de optimización por al menos dos razones: primero que todo con el uso de las computadoras actualmente, no nos permite explorar muchas soluciones. Además, la búsqueda de muchas soluciones

promueve la creatividad del grupo de trabajadores, El método de calculo recomienda lo siguiente:

Analizar la matriz artículo - centro de trabajo o centro de trabajo - centro de trabajo de acuerdo al criterio de operación, carga y flujo de operaciones.

Para cada uno de estos 3 criterios buscar un conjunto de soluciones cambiando el tamaño de las células cuidando el rango de movimientos intercelulares abajo del 50% además, los movimientos intercelulares son los más importantes dentro de una célula. En la práctica se ha encontrado que el número de diferentes soluciones esta entre 3 y 8, Entonces el número total de soluciones varía entre 9 y 24 por los 3 criterios.

Cada solución tiene que ser resumida por medio del análisis de la matriz de cada artículo, carga y ordenes, lo cual no es mas que sumar el total de actividades dentro de cada columna y renglón y verificar cuales están dentro de una célula y no, obteniendo los porcentajes de cada una de ellas para construir un resumen de las 3. Artículo, Carga y ordenes. Este análisis es muy importante que deba ser realizado por un grupo de trabajadores con experiencia y con varias habilidades.

Después de la búsqueda y análisis de las soluciones, el grupo de trabajadores no siempre hace una selección de todas ellas, las razones para rechazar pueden variar como: Las células comprenden a muchos centros de trabajo, el número de estos se juzga inadecuado, se tiene una gran cantidad de movimientos intercelulares, el tamaño de las células esta mal proporcionado, las cargas de unas células de producción no tienen suficiente relevancia para justificar una relocalización de máquinas.

### **Búsqueda de consenso**

En este nivel el diseñador celular debe identificar el origen de los acuerdos o desacuerdos entre las soluciones, los artículos o centros de trabajo con un acuerdo total, frecuentemente son más numerosos que los desacuerdos, esto debido a que la pertenencia de un artículo o centro de trabajo a una célula depende de los criterios de clasificación y optimización y del tamaño de la célula.

### **Proceso final de formación de la célula**

La propuesta de las células a menudo contiene flujos intercelulares. Las técnicas usuales de administración de operaciones, análisis de herramientas, procesos de planeación asistidos por computadora (CAPP) pueden ser usadas para los requerimientos de maquinaria por el rediseño de las partes, estandarizar las características y herramientas, optimización de los parámetros de la maquinaria y así sucesivamente. Una estrategia practica es reducir los requerimientos de las máquinas que causan flujos intercelulares. Existen caminos para eliminar los problemas que ocasionan flujos intercelulares; sin embargo un estudio extra, inversiones, costos de operación pueden hacer que la eliminación de los movimientos

intercelulares sea muy caro. Se puede llegar a un acuerdo entre los criterios financieros y el flujo del piso. Existen algunos caminos para eliminar los movimientos intercelulares.

**Agregando pequeñas células.** La eliminación de movimientos entre dos células se obtiene al unir las en una sola celda. Esta simple técnica es aplicada debido a que obtener las familias se comprimen muchos centros de trabajo en muchas células de un tamaño pequeño.

**Distribución de centros de trabajo existentes.** Algunos artículos utilizan centros de trabajo externos a la célula a la cual fueron asignados. Si estos centros de trabajo se convierten en estaciones de trabajo críticas, su distribución entre las células puede contribuir a la disminución de los movimientos intercelulares.

**Inversión en medios de producción.** Automatizando también se reducen los movimientos intercelulares y se incrementa la capacidad.

**Maquilando y eliminando artículos.** Mandando a maquilar algunos artículos y eliminando otros también reduce los movimientos, los criterios para mandar a maquilar dependen del efecto que se produce en las cargas de máquinas críticas, la tecnología de fabricación (Knowhow), teniendo cuidado ya que se puede disminuir la capacidad utilizada.

**Rediseño de las partes.** Rediseñando las partes para eliminar la característica que requieren operaciones externas. Esta técnica requiere una colaboración estrecha de los departamentos de ingeniería de procesos y el de investigación y desarrollo.

La eliminación de los movimientos intercelulares es técnicamente factible, pero el conjunto de criterios financieros y técnicos definen los límites de la transformación, los pasos anteriores pueden ser combinados para obtener una célula independiente.

## 2.7. Planificación del Layout para Manufactura Celular<sup>(2)</sup>

Existen 4 tipos básicos de layout usados en por los sistemas de manufactura.

Layout fijo. En este el equipo de producción se mueve al producto, este es usado cuando el producto no se puede mover, como la construcción de edificios, aviones.

Layout de producto. Este es asociado con un alto volumen de producción y baja variedad de productos. (Fig. 2)

Layout de proceso o funcional. Es asociado con un bajo volumen de producción y una gran variedad de productos. (Fig. 3)

Layout de grupos o celular. (Fig. 4)

Estos se distinguen basados en las características del sistema tales como volumen de producción, variedad de productos relacionados como se muestra en la figura 1.

Fig. 1

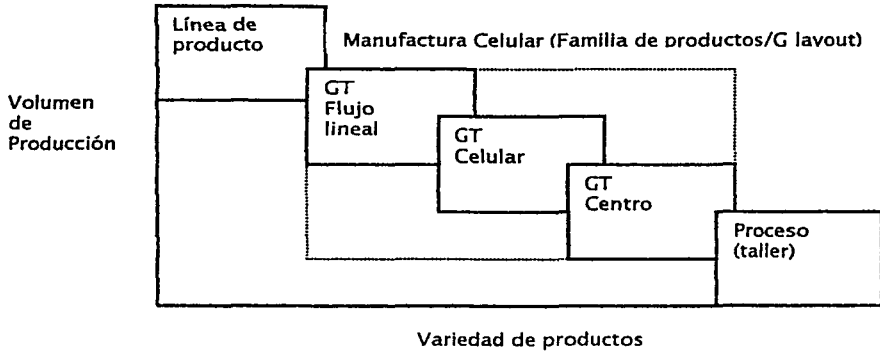


Fig. 2 Layout de producto

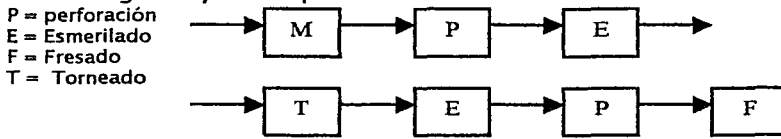


Fig. 3 Layout de proceso o funcional

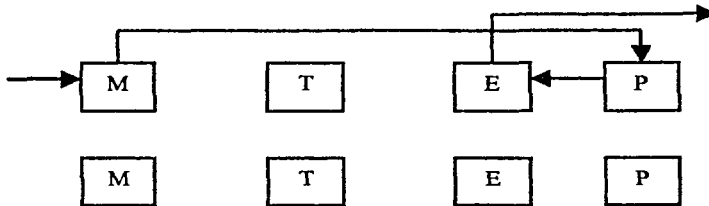
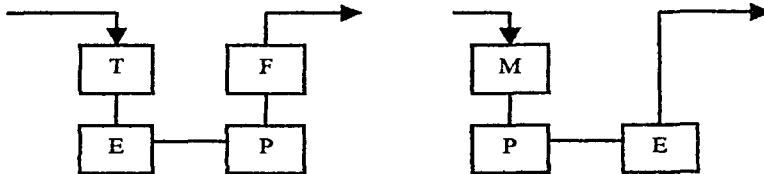


Fig. 4 Layout celular





La disposición de las máquinas y servicios auxiliares es una decisión estratégica, y es un proceso con etapas críticas:

- Definición del problema de planificación del layout
- Selección de la metodología de solución
- Generación de planes alternos
- Modificación y selección uno o dos planes
- Decidir el procedimiento de implementación
- Revisión y reajuste basados en los problemas iniciales de la implementación.

Los objetivos involucrados en la planificación son:

- El movimiento de materiales y personal debe ser efectivo
- La utilización del espacio debe ser efectiva
- Fácil acceso al crecimiento o expansión
- Se debe controlar el ruido
- Debe tener seguridad
- Buena apariencia
- Fácil supervisión y control
- Seguro
- Ser de un costo bajo

Existen una variedad de restricciones en la planificación del Layout y las más comunes son:

- Una o más actividades fijas
- Limitaciones arquitectónicas
- Limitaciones del manejo del material
- Restricciones organizacionales
- Presupuestales
- Tiempo

Se necesita una metodología de solución apropiada para la planificación del layout que pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- Aproximaciones tradicionales.
- Aproximación de Reed (1961)<sup>(6)</sup>
- Aproximación de Apple (1977)<sup>(7)</sup>
- Aproximación Sistemática de planificación del layout (SLP)

Esta última es la más común y consta de 4 fases:

La Fase 1: determinación del área de localización. Esta identifica el área dentro de un edificio existente o uno nuevo.

Fase 2: establecimiento de un layout general. Se establecen las posiciones de los departamentos.

Fase 3: Desarrollar el layout de detalle. En esta se fija la localización de las máquinas, el equipo auxiliar los servicios auxiliares, incluyendo las facilidades para limpieza e inspección.

Fase 4: instalación del mejor Layout. Antes de la instalación se debe obtener la aprobación de los empleados, supervisores y administradores.

La segunda y tercera fase se debe hacer iterativo para encontrar el mejor layout.

## 2.8. Control de Calidad en la Manufactura Celular<sup>(1)</sup>

La calidad de un producto depende de que tan bien fue diseñado, de los insumos y de que tan bien fue fabricado o lo que es lo mismo hasta que punto las especificación del diseño fue respetada durante la fabricación del producto. La calidad de un producto esta íntimamente relacionadas con la calidad de los procesos de fabricación. Un sistema de manufactura celular tiene muchas ventajas inherentes con respecto a los sistemas tradicionales de manufactura, y es debido a que los sistemas de manufactura celular proveen una más alta calidad a los procesos de fabricación. Las razones por las que se lleva a cabo procesos con una gran calidad en los procesos de manufactura celular son: (1) generalmente se eleva la capacidad de los procesos. (2) debido a la facilidad en la obtención de los materiales y de la información del control de flujo y a la retroalimentación entre el personal. (3) se reducen las cantidades del desperdicio y de los reprocesos.

Una de las muchas ventajas de la manufactura celular, es la mejora en la calidad del producto. La cercanía de varias actividades relacionadas con un producto en un ambiente de procesos celulares, nos da la habilidad de ejercer un mejor control de cómo se trabaja como y que se hizo, y si algo sé esta haciendo mal. El efecto de una pobre calidad en una operación se vuelve evidente rápidamente dando la oportunidad de tomar las acciones correctivas rápidamente.

A menudo los elementos sucesivos de un proceso de producción son realizados por el mismo (s) trabajador (es). Esto resulta en grandes niveles de pertenencia, responsabilidad, y un flujo fácil de información formal e informal acerca del proceso de producción.

## 2.9. Costos de la Manufactura Celular<sup>(1)</sup>

Porque cada aplicación de la manufactura celular es diferente, no es posible listar todos los costos potenciales, sin embargo los siguientes son algunos de los costos en los que se incurre al introducir y operar la manufactura celular.

Cualquier costo relacionado con la reducción de la utilización de la máquina y la necesidad de comprar máquinas adicionales.

Cualquier costo asociado con la utilización de la mano de obra.  
Costos de adiestramiento de los operadores.  
Costos por desperdicio y reprocesos durante el adiestramiento.  
Compras de equipo de piso como las herramientas e instalaciones que se tienen que duplicar.  
Las mejoras en los métodos de producción, así como los costos de equipo y herramientas para reducir los tiempos de arranque (Setup)  
Las pérdidas de producción durante la reorganización.

## 2.10. Sistemas de Manufactura Celular Vinculados (L-MCS)

En los sistemas de manufactura esbelta el intervalo de producción es reducido por la eliminación gradual y sistemática del inventario. El inventario es capturado en vínculos (entre las células) en el sistema y controlado por los clientes internos (los usuarios del inventario) usando KANBAN. Esta es una sorpresa para muchos que piensan que los sistemas de producción esbelta no tienen inventarios. Esto no es correcto. El inventario entre las células es uno de los vínculos y es controlado por los clientes internos.

**KANBAN:** Es un sistema de producción altamente efectivo y eficiente, ha desarrollado un ambiente óptimo manufacturero envuelto en una competitividad global. Es muy común la asociación de Kanban =JIT o control de inventarios, directamente no es así pero tiene una relación muy estrecha.

Funcionara efectivamente en combinación con otros elementos de JIT, manufactura celular tales como calendarización de producción mediante etiquetas, buena organización del área de trabajo y flujo de la producción.

Kanban es una herramienta basada en la manera de funcionar de los supermercados.

Kanban significa en japonés etiqueta de instrucción. Mismo que contiene información que sirve como un dispositivo de dirección automático que nos proporciona información acerca de que es lo que se va a producir, en que cantidad, mediante que medios y como será transportado.

Las funciones principales del kanban son:

Control de la producción. Aquí tendremos la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema JIT o celular en la cual los materiales llegan a tiempo y cantidad requerida en las diferentes etapas de la fabricación.

Mejoras de proceso. En las diferentes actividades de la empresa, se usan técnicas estadísticas en proceso, utilización de maquinaria contra utilización con base a la demanda, manejo de multiprocesos, mecanismos de prueba y error, mantenimiento preventivo o mantenimiento total productivo TPM, reducción de los niveles de los inventarios.

La siguiente tabla muestra que las revoluciones industriales (RI) se han generado por los diseños de sistemas de manufactura (MSD's) y podemos observar como se comportara la manufactura en los próximos años.

	Primera RI	Segunda RI	Tercera RI	Cuarta RI
Años	1840-1910	1910-1970	1960-2010	2000-2040
MSD's'	Negocios de trabajo	Negocios de flujo	Células vinculadas	Manufactura integrada computarizada
Layout	Funcional	Producto	Flujo de una pieza (L-CMS)	Ensamblajes vinculados de módulos largos o subensamblajes
Tecnología disponible	Producción de acero, trenes para transportación	Estandarización Ensamble al final de la línea	SMED; Células en U; kanban	Realidad virtual / usando diseño en simulación 3D Bajo costo y alto desempeño en computadoras
Nombre histórico	Sistema americano de armas (Colt, remington)	Producción en masa (Ford, Singer)	Producción esbelta de Toyota (HP, H-D, Omark)	Boeing, Lockheed, Chrysler
Economías	De recolección de tecnología	De escala	De alcance	Por nombrar

### 3. DISCUSIÓN

Una de los conceptos más relevantes de este sistema de manufactura es que el análisis en casi todas las etapas de la implementación intervienen la mayoría de los empleados de una compañía, lo cual hace que obtengan una relación de pertenencia de tal forma que se eleva el sentido de responsabilidad, creatividad etc. Lo cual no necesariamente es intangible ya que se puede medir por el nivel del ausentismo del personal.

Una de las dificultades más importantes en la implementación de este sistema considero que es la falta de conocimientos para la aplicación del mismo, debido a que es un sistema que recientemente se aplica en América. Además de que en muchas fabricas no se tiene una base de datos de los artículos, centros de trabajo y rutas de fabricación de los productos y la obtención de estos puede ser larga y tediosa. Este es uno de los pasos más importantes para poder agrupar una familia de partes dentro de una célula.

Otra es la que este sistema puede ser muy caro debido a las inversiones que se deben realizar para la formación de las células, tales como compra de equipo adicional, costos de relocalización de la maquinaria.

Una de las aportaciones más significativas de este trabajo es que la implementación de los nuevos diseños en los sistemas de manufactura, es que están basados en un concepto de mejora continua en casi todos los aspectos de una industria, tales como: Calidad. Producción a un bajo costo. Flexibilidad a los requerimientos en la demanda de los clientes. Mejoras en el desempeño de los equipos y en la mano de obra. Disminución de los inventarios. Etc.

Además este sistema de producción no choca con las otras tecnologías de producción que existen actualmente, sino que se complementan y las aportaciones de cada una de ellas enriquecen el sistema de manufactura y nos da la flexibilidad para dar el paso siguiente en las tecnologías de equipos y sistemas de manufactura aun más actualizados.

La mayor limitación de éste sistema de manufactura es que no aplica para procesos químicos continuos, pero actualmente esta en auge en Norteamérica y en México Rubbermaid ya lo implementó.

#### 4. CONCLUSIONES

La conclusión más importante de este trabajo considero que es, que se debe definir claramente cuales son las necesidades en los sistemas de producción para poder escoger el sistema de manufactura adecuado a cada empresa y a cada división de la misma, debido a que el mismo sistema no se puede aplicar a toda la empresa por las diferencias en los sistemas de producción y procesos que son utilizados. El mayor reto de los administradores de la producción en la actualidad es comprender cual es la necesidad real de cada departamento y realizar la mejor decisión para lograr una mejora continua de cada departamento y así poder competir en el ambiente mundial que es muy agresivo y por la globalización se tiene una mayor competencia para todas las industrias.

La única manera para competir y no ser absorbido o eliminado, es implementar un sistema de manufactura adecuado para obtener ventajas competitivas. La implementación no necesariamente debe ser cara ya que las ventajas obtenidas pueden pagar la inversión. Además al invertir en sistemas en los que se describieron los organigramas de hacen planos, lo que conlleva a que la toma de decisiones se realiza en el piso, ocasionando que la fuerza de trabajo se hace partícipe de la implementación de los sistemas y mejora el desempeño de los trabajadores, esto puede ocasionar que se incremente la creatividad para la solución de los problemas cotidianos ocasionando un cambio de cultura de la fuerza laboral, permitiendo que la administración de la producción pueda enfocarse a la investigación y desarrollo de mejoras en el área de trabajo.

No se debe olvidar que el activo más valioso de cualquier empresa es la gente y este y otros sistemas de manufactura están enfocados bajo este mismo precepto porque ocasionan que el personal se identifique con su trabajo, adquiriendo pertenencia, mayores habilidades. Esto puede mejorar la calidad de vida de los empleados y los rendimientos económicos de la empresa.

Aún cuando este sistema de manufactura está orientado a las empresas de ensamble, Aplica de la misma manera a la producción de químicos que se realizan por lotes, en la industria de inyección de plásticos, en la industria de fibras sintéticas y algunas otras que aplican para los profesionales en Ingeniería Química y los administradores de la producción.

## 5. ANEXO I

### ALGORITMO DEL ANÁLISIS DEL FLUJO DE PRODUCCIÓN (PFA)

#### Paso 1.

A partir de la matriz de incidencia maquina-componente (tabla 1) se calcula el número de componentes que visita a cada máquina (frecuencia) ver tabla 2 en modulo 1.

#### Paso 2.

La máquina con la menor frecuencia se escoge como la máquina núcleo del módulo, se enlistan los componentes que componen a esta máquina núcleo. Las otras máquinas que son requeridas para hacer estos componentes son adicionadas al módulo, y de acuerdo a los componentes que son necesarios en cada máquina estos se restan de la frecuencia. (Ver tablas 2 y 3.)

#### Paso 3.

Repetir el paso 2 hasta ya no encontrar máquina núcleo. (Ver tablas 2 y 3.)

#### Paso 4.

Empalmar los módulos si un conjunto de máquinas puede ser introducido en otro conjunto. (Ver tablas 3, 4 y 5.)

Ejemplo:

Tabla 1.

máquinas	componentes																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4				
1																																	1	1		
2	1																																			
3																																				
4																																				
5																																				
6	1																																			
7																																				
8	1																																			
9	1																																			
10																																				
11																																				
12																																				
13	1																																			
14																																				
15	1																																			
16																																				

**Tabla 2.**

	Módulos															
máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8	6	6	6	6	6	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0
3	5	5	5	5	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	3	2	0		
5	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	6	4	2	1	
6	19	17	17	15	13	13	13	10	8	7	6	6	0	0	0	0
7	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	19	17	16	14	11	10	9	9	8	7	7	4	2	1	0
9	10	8	8	8	8	8	8	7	7	3	1	0	0	0	0	0
10	7	7	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	6	6	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	5	5	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	8	6	6	6	6	6	6	5	4	0	0	0	0	0	0	0
14	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2	0	0	0	0

**Tabla 3**

módulo	máquinas										comp
1	1	2	6	8	9	13					37 42
2	14	12	11	8							3 24
3	7	6	8	9	10						1 13 25
4	10	6	8								12 26 31 39
5	11	4	5	8	12						9 20 27 30
6	12	8									11 22
7	15	2									2 6 17 35
8	3	6	13								7 34 36
9	13	2	6	8	9						10 18 32 38
10	2	6	8	9							28 40
11	9										4
12	6	4	5	8	16						5 14 19 23 33 43
13	16	4	5	8							21 41
14	4	5	8								8 29
15	8	5									15
16	5										16

**Tabla 4**

módulo	maquinas	componentes
1	1 2 6 8 9 13	37 42 10 18 32 38 28 40 4
2	14 8 11 12	3 24 11 22
3	7 6 8 9 10	1 13 25 12 26 31 39
4	11 4 5 8 12	9 20 27 30
5	15 3 2 6 13	2 6 17 35 7 34 36
6	6 4 5 8 16	5 14 19 23 33 43 21 41 8 29 15 16

**Tabla 5**

módulo	maquinas	componentes
1	1 2 6 8 9 13	2 4 10 18 28 32 37 38 40 42
2	4 5 8 11 12 14	3 9 11 20 22 24 27 30
3	7 6 8 9 10	1 12 13 25 26 31 39
4	15 3 6 13	6 7 17 34 35 36
5	6 4 5 8 16	5 8 14 15 16 19 21 23 29 33 41 43

Como se puede observar, al comparar las tablas 3 y 4 se empalmaron los módulos 1, 9 10 y 11 de tabla 3 para formar módulo 1 de la tabla 4, sucesivamente hasta empalmar módulos 12 a 16 para formar el 6. Entre las tablas 4 y 5 continúa el empalme aquí combinando módulos con mayores semejanzas, y se hace notar que se elimina la máquina 2 del módulo 5, así como el componente 2 de la tabla 4 y se incluyen dentro del módulo 1 de la tabla 5, esto genera un movimiento intercelular. Esto se realizó para fines didácticos, así como en el siguiente párrafo.



También al comparar la tabla 5 de la matriz máquina - componente siguiente se observa que en la matriz se eliminaron las máquinas 4 y 5 del modulo 2 y la máquina 13 del modulo 4, de la tabla para ejemplificar que es preferible realizar un movimiento intercelular que comprar 3 máquinas más para la formación de una célula. Y al hacer la matriz se observa que la maquina 9 del módulo 3 no realiza ninguna operación dentro de la célula por lo que también se elimina y la matriz quedaría de la siguiente manera.

**Matriz máquina - componente**

		1	1	2	3	3	4	4	1	2	2	2	3	1	1	2	2	3	3	1	3	3	3	1	1	1	1	2	2	3	4	4																
máquina	2	4	0	8	8	2	7	8	0	2	3	9	1	0	2	4	7	0	1	2	3	5	6	1	9	6	7	7	4	5	6	5	8	4	5	6	9	1	3	9	3	1	3					
1							1			1																																						
2	1																																															
6	1																																															
8	1																																															
9	1																																															
13	1																																															
8																																																
11																																																
12																																																
14																																																
6																																																
7																																																
8																																																
10																																																
3	1																																															
6																																																
15																																																
4																																																
5																																																
6																																																
8																																																
16																																																

La objetivo de este ejercicio es meramente didáctico y que se puedan visualizar los ajustes que se realizan para combinar módulos. Además de que se debe evaluar la conveniencia de invertir en más maquinaria o en realizar movimientos intercelulares, esto depende de cada administración, de los recursos y la complejidad de las operaciones de cada industria.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Irani, Shahrukh A. (1999). *Handbook of cellular manufacturing systems*, John Wiley & Sons Inc., New York
- 2) Singh, Nanua and Rajamani, Dikavar. (1996). *Cellular Manufacturing Systems design, planning and control*, Chapman & Hall, London
- 3) ([http://www.lean-6sigma.com/id47\\_m.htm](http://www.lean-6sigma.com/id47_m.htm))
- 4) (<http://spice.gob.mx/siem2000/indica/conceptos/glosa.asp>)
- 5) (Shunk, 1987)
- 6) Aproximación de Reed (1961)
- 7) Aproximación de Apple (1977)