

---

## ***CAPITULO IV***

### ***DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MANUFACTURA CELULAR***

La Manufactura Celular ha emergido como una alternativa a la fabricación convencional por lotes, debido a su capacidad para reducir los tiempos de preparación, inventarios en proceso y los tiempos de producción. Manufactura Celular está basada en la formación de células de máquinas las cuáles deberán ser capaces de procesar una o más familias de partes de manera independiente.

La reorganización de las instalaciones de la planta a una configuración Celular es una estrategia competitiva primordial para las compañías manufactureras de partes. Sin embargo, simplemente agrupar las máquinas, no garantiza que las ventajas asociadas con Manufactura Celular serán logradas; un mal diseño no llevará a un proceso de flujo continuo, y puede ocasionar más pérdidas en la productividad que una distribución funcional.

Algunos factores que deben tomarse en cuenta al momento de tomar decisiones de diseño para lograr células de Manufactura efectivas y eficientes se presenta a continuación:

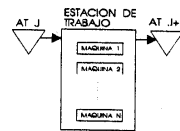
#### **4.1: DISTRIBUCION Y CAPACIDAD DE LA CELULA.**

Después de que las partes y las máquinas han sido asignadas a la célula (Veáse capítulo III, Formación de células), el siguiente paso es configurar la distribución intraCelular y la capacidad de la máquina ya que son dos factores determinantes que deben tomarse en cuenta para balancear la carga de las estaciones de trabajo en el piso.

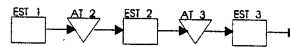
##### **4.1.1.- Configuraciones de distribución Celular**

La típica célula con flujo en línea está compuesta de algunas estaciones de trabajo de funcionalidad diferente, las cuales se agrupan para producir un grupo de partes similares con procesamiento de flujo continuo (pieza por pieza) y movimiento de material. Cada estación de trabajo consiste de una o más máquinas de funcionalidad similar que establecerán el balance de carga de trabajo entre las operaciones necesarias para tener un flujo continuo. Generalmente son colocados almacenamientos temporales, con capacidad finita y limitada entre las estaciones de trabajo para minimizar los efectos del desbalanceo de la carga de trabajo, variabilidad en el tiempo de proceso de máquina, tiempos de reparación, etc.

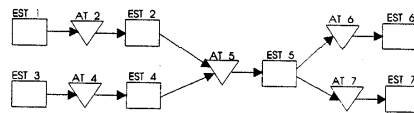
La siguiente figura muestra posibles tipos de configuraciones para células con línea de flujo. El inciso a) de la FIGURA 4.1, muestra la configuración general para una estación de trabajo simple que consiste de una o más máquinas



a) Configuración General



b) Flujo Simple



c) Líneas Paralelas

FIGURA 4.1. CONFIGURACIONES DE CELULAS CON FLUJO EN LINEA

con capacidad de proceso similar. El trabajo entra a la estación desde un sitio anterior en la línea y es colocado después de haber sido procesado en una máquina, en un sitio posterior en la línea.

En una célula simple con línea de flujo tradicional, mostrada en el inciso b), el flujo de materiales es de estaciones de trabajo línea arriba a estaciones de trabajo línea abajo, y es permitido el "salto de rana" .

El inciso c) muestra una variación donde dos líneas paralelas convergen a una estación de trabajo común y divergen de nuevo a líneas paralelas, este tipo de configuración es apropiado en aquellas situaciones donde se

tiene una máquina clave, pero que sería inapropiado duplicarla.

La distribución de las máquinas en la célula, afecta tanto las asignaciones del operador como la tasa de producción. Uno de los modelos de distribución más populares es la forma de "U" dado que proporciona una estación flexible, mejor utilización del operador, mejor vigilancia y control. Por ejemplo consideremos una célula de seis estaciones, como se muestra en la FIGURA 4.2:

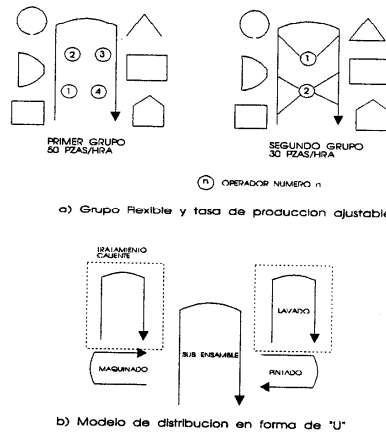


FIGURA 4.2. MODELO DE DISTRIBUCION EN FORMA DE "u" PARA CELULAS CON FLUJO EN LINEA

Primer grupo de trabajo: Cuatro operadores hacen funcionar la célula y conjuntamente producen a razón de 50 piezas/hora.

Segundo grupo de trabajo: Dos operadores y producen a una razón de sólo 30 piezas/hora.

Este grupo flexible permite ajustar fácilmente las tasas de producción para igualar las variables de demanda, aún más, la proximidad de los operarios entre ellos les permite identificar problemas y solucionarlos a través de un enfoque en equipo.

Cuando se están diseñando sistemas de Manufactura Celular, lo ideal es reconfigurar todo el piso de trabajo de fabricación dentro de distintas células, cada una diseñada para producir familias de partes. Es apropiado y a veces necesario, desarrollar las células por separado, aunque estén interconectadas, para producir una familia de partes.

La figura 4.2b muestra un ejemplo de células interconectadas en forma de U, que cuando se encuentran apropiadamente balanceadas, pueden llevar a un proceso de flujo continuo y eliminar las desventajas del procesamiento por lotes.

#### **4.1.2.- Carga de trabajo y capacidad de la estación**

El nivel de capacidad disponible en una estación de trabajo está determinada por tres factores:

- 1: Número de máquinas en cada estación
- 2: Número de turnos de trabajo por día de operación
- 3: Número de horas/turno de trabajo que cada estación (o máquina) utilizará

Seleccionar los niveles apropiados de los parámetros de la capacidad de la célula es primordial, dado que estas decisiones afectarán y determinarán la selección de muchas variables de diseño subsecuentes. Por ejemplo, el número de máquinas influirá grandemente en como se dirigirá y operará la célula; similarmente, también determinará e influirá en los niveles apropiados de almacenamiento temporal que se necesitan para mantener un buen balance del flujo de proceso.

El primer paso en el análisis de la capacidad de trabajo es recolectar los siguientes datos para cada una de las partes que se procesarán en la célula:

- \* Tiempos de preparación por operación
- \* Tiempo de proceso de parte por operación
- \* Tiempo de manejo de parte por operación
- \* Uso anual esperado
- \* Tamaño de lote de producción

Después de que esta información ha sido obtenida, es posible calcular la carga anual de trabajo esperada por cada estación de trabajo en la célula.

Las siguientes ecuaciones son usadas para calcular el tiempo por carga de trabajo:

$$\text{Preparación (Hrs.) (SET UP)} = \frac{\text{Demanda anual}}{\text{Tamaño de Lote}} \times \frac{\text{Tiempo de Preparación}}{60 \text{ minutos/hora}} \times \frac{1}{\text{Eficiencia}}$$

---

$$\text{CICLO (HRS.)} = \frac{(\text{Demanda Anual}) (\text{Tiempo/pieza}) (100\%)}{(\text{Eficiencia \%})}$$

Donde:

$$\text{Tiempo de pieza} = \frac{(\text{Tiempo de carga} + \text{Tiempo de ciclo} + \text{Tiempo de descarga})}{60 \text{ Min/Hr}}$$

#### **4.2.- NIVELES Y ASIGNACIONES DE LOS OPERADORES.**

En el pasado, las técnicas de diseño para sistemas de Manufactura, han a veces ignorado los efectos que el número de operadores y sus asignaciones en la estación de trabajo, tienen sobre el desempeño del sistema. En el caso de máquinas manualmente operadas, configuradas en una distribución de taller, los efectos de los operarios sobre el desempeño del sistema era a veces obscurecido por los efectos de la máquina y por lo tanto eran comúnmente ignorados o supuestos como constantes, sin embargo, en el caso de células de trabajo operadas por personas, un operador puede ser entrenado para atender más de una máquina, de tal manera que el número de operarios requeridos sea menor que el número de máquinas en la célula. Esta situación no solamente incrementa la productividad del operario sino que también mejora la flexibilidad para controlar la tasa de producción de la célula; pero, si muy pocos operarios son asignados a una

---

célula de trabajo esta puede no tener la capacidad de producir a la tasa de producción requerida. Por otro lado, demasiados operarios solamente incrementarían el costo de operación de la célula y bajaría su productividad promedio.

#### **4.2.1.- Efectos de los operadores:**

El número de los operadores en la célula afecta la productividad y la tasa de producción de la misma. El número ideal que debe tener una célula depende del tipo de máquinas en la célula (manual ó automática) y de la tasa de producción requerida. Es importante determinar éste número en la etapa de diseño para que puedan ser entrenados para hacer funcionar dos o más tipos de máquinas diferentes antes de la implementación Celular. Es también importante empezar por desarrollar las actitudes y habilidades de equipo necesarias para la funcionalidad efectiva de la célula antes de acomodar las máquinas.

Cuando las máquinas son de operación manual en una célula, el operario es responsable de ejecutar los arreglos o los acoplamientos de la máquina entre tareas, procesamiento de partes y carga y descarga de la máquina. Los efectos del número de operadores sobre la tasa de producción y productividad de la célula, en el caso de máquinas manuales puede ilustrarse como sigue:

Considerar el caso de 3 máquinas y 3 operaciones en la célula, en la figura 5.3a, la OPERACION 1 requiere 80



segundos, OPERACION 2 requiere 130 segundos, OPERACION 3 requiere 90 segundos.

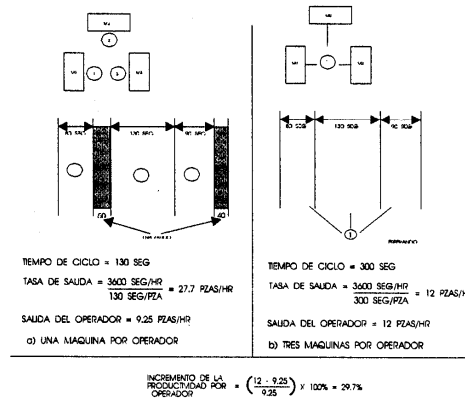


FIGURA 4.3. MEJORAS EN LA PRODUCTIVIDAD REDUCIENDO EL NUMERO DE OPERADORES

Si cada máquina en la célula está asignada a un operador para ejecutar esa tarea, entonces el tiempo de ciclo para la célula será igual al tiempo más largo de operación, en este caso la operación número 2 de 130 segundos, de acuerdo con esto, la razón de salida de la célula para este trabajo sería de 27.7 piezas/hora, llevando esto a un resultado por operador de 9.25 piezas/hora. El caso de asignar 3 máquinas a un operador es mostrado en la figura 4.3b, el tiempo de ciclo es ahora el total de los tres elementos, 300 segundos, el cual reduce la tasa de salida a solamente 12 piezas/hora, sin embargo, dado que la salida por operador es también de 12 piezas/hora, el mejoramiento en la productividad con el

número reducido de operadores es un significativo 29%. Por otra parte, la tasa de salida cayo desde 27.7 piezas/hora a 12 piezas/hora, de aquí que determinar el número de operadores para asignar a una célula de trabajo es un balance entre la productividad del operario y la tasa de salida requerida de la máquina. Resulta entonces evidente que la administración debe tener un considerable control en la planeación y manipulación de la tasa de salida de la célula para satisfacer los requerimientos de demanda.

Cuando una célula esta formada de máquinas donde el ciclo de procesamiento de la máquina es automático, la atención del operario a veces no es requerida durante el proceso, y por lo tanto hay una gran oportunidad para asignar a un operador que atienda más de una máquina, ocasionalmente el servicio que requiere la máquina, como carga y descarga tendrá que esperar si todos los operarios de la célula estan ocupados atendiendo otras máquinas. Cuando esta situación ocurre, el resultado es una interferencia de máquina y consecuentemente baja la tasa de producción total de la célula. Esencialmente el número de operadores y sus asignaciones en las estaciones de trabajo, puede afectar drásticamente la tasa de producción global de la célula causadas por interferencia de máquina inducida por el operador, en la ejecución de una célula de Manufactura.

La selección del nivel más apropiado de la capacidad del operador depende de varios factores. El primer factor es

alcanzar un nivel de producto terminado que satisfaga la demanda en la célula, la cual es dictada por los requerimientos del cliente. Por ejemplo, si el nivel de demanda actual sólo requiere un promedio de 6.5 piezas por hora de producto terminado, y éstas pueden ser hechas por 4 operadores, entonces serán suficientes para cumplir con esos requerimientos, éste ejemplo ilustra una de las ventajas de las células, que es, la tasa de salida de la célula puede ser fácilmente controlada por la administración.

Dado que uno de los objetivos de la administración en la implementación de células es reducir los costos de Manufactura, es importante considerar el costo de seleccionar el número de operadores apropiado.

#### **4.2.2.- Efectos de la asignación del operario.**

Uno de los principales objetivos al asignar un cierto número de operadores a un conjunto de estaciones de trabajo en una célula, es minimizar la interferencia de la máquina y obtener la tasa de producción deseada. Sin embargo, determinar una buena asignación de operadores no es una tarea trivial, entonces la ocurrencia de interferencia de máquina inducida por el operador es altamente combinatoria. En muchos casos, una solución para este problema es especificar el ambiente de la célula bajo evaluación.

Hay varios factores que la administración debe considerar cuando asigna los operadores a la estación:

- 1: Entrenamiento cruzado del operador (la administración tiene que decidir sobre el entrenamiento cruzado de los operadores asignados a la célula).
- 2: La distribución física de la célula (ésto principalmente afecta el viaje (distancia /tiempo) de los operadores entre las estaciones y las restricciones físicas que puede limitar el movimiento de los operadores).
- 3: El tipo de sistemas transportadores y de manejo de materiales disponibles.

El problema de asignación del operario es usualmente específico al ambiente de la fabricación bajo consideración, sin embargo, es de suma importancia usar la simulación como una herramienta para evaluar diferentes alternativas del diseño de células. Además, el entrenamiento adicional puede permitir para un nivel bajo de capacidad de los operarios tener un nivel alto de realización.

#### **4.3.- NIVELES DE LOS ALMACENAMIENTOS TEMPORALES (AT).**

Mucho se ha escrito y se ha dicho acerca de la deseabilidad de mantener inventarios de trabajo en proceso al mínimo. Sin embargo, cuando se estan procesando una variedad

---

de partes en la misma familia, la colocación de almacenamientos temporales entre las estaciones de trabajo es necesario y práctico para contrarrestar el desequilibrio de la carga de trabajo que existe entre las estaciones de una célula. A continuación se señala como determinar los tamaños apropiados de AT entre estaciones de trabajo para minimizar las interferencias inducidas por fenómenos como bloqueo e inactividad.

#### **4.3.1.- Bloqueo o inactividad en las estaciones de trabajo.**

El bloqueo ocurre cuando una pieza de trabajo procesada es bloqueada en su salida de la máquina debido a que no hay espacio en el AT de la siguiente operación. En efecto, impide al operador seguir trabajando, ya que el AT inmediato está lleno. Desafortunadamente, el bloqueo induce a una interferencia de máquina debido al AT y por lo tanto baja la tasa de producción de la célula. El fenómeno de inactividad ocurre cuando un operador termina una operación pero está inactivo debido a que el AT anterior está vacío. En ambos casos, el bloqueo y la inactividad causan una interferencia de máquina, esto es, tiempo ocioso inducido, el cual afecta adversamente la tasa de producción de la célula. Es esencial en la etapa de diseño determinar los niveles de capacidad

apropiados de los AT para minimizar el tiempo improductivo de la máquina y del operador, para mantener altos niveles de producción en la célula y minimizar los costos de los inventarios.

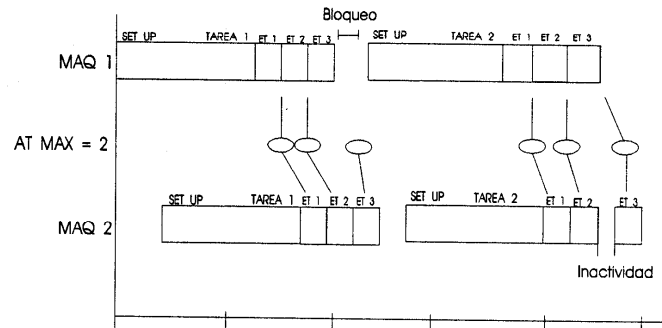


FIGURA 4.4. CELULA CON FLUJO EN LINEA CON UN OPERADOR Y UN ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE TAMANO 2

La FIGURA 4.4, ilustra el caso de bloqueo y de inactividad en una célula con dos máquinas, y donde el AT entre las estaciones tiene capacidad para dos piezas. El bloqueo ocurre en la máquina 1 cuando la pieza 3 de la tarea 1 se completa. Dado que en este tiempo, el AT esta ya a su capacidad total con las piezas 1 y 2, la pieza 3 no puede ser cargada en la máquina 1 hasta que la pieza 1 es cargada en la máquina 2. Hasta que la primera pieza es cargada en la máquina 2, la máquina 1 será bloqueada para un proceso posterior debido a la capacidad del AT limitada a piezas. Además de esto, la capacidad del AT produce una condición de inactividad para la tarea 2 en la máquina 2. Dado que el

---

tiempo de ciclo de la tarea 2 es considerablemente menor en la máquina 2 que en la máquina 1, el AT está agotado de piezas después de que la segunda pieza es cargada en la máquina 2. Consecuentemente, la máquina 2 estará inactiva hasta que la pieza 3 de la tarea 2 sea hecha en la máquina 1. Esta figura ilustra que los AT de capacidad finita pueden causar bloqueo e inactividad.

Como se ilustró, el bloqueo y la inactividad pueden ocurrir en células donde hay AT de capacidad finita entre las estaciones, por lo que es interesante estudiar estos factores conjuntamente en términos de sus efectos sobre la tasa de producción de la célula.

#### **4.3.2.- Efectos de los lotes de transferencia.**

El tamaño de los lotes de transferencia (TLT) es el número de piezas movidas en grupo (o entidad) entre las estaciones en la célula. Por ejemplo un lote de 100 piezas puede ser procesado y movido a través de la célula, pieza por pieza (TLT = 1), en un grupo de 10 piezas (TLT= 10) o algún otro tamaño.

Al diseñar una célula, es frecuentemente necesario también diseñar las unidades transportadoras para la movilización de las partes en proceso, dentro de la célula, de una forma segura y eficiente entre las estaciones de trabajo. Por eso es tan importante conocer los efectos que el tamaño de la unidad de transporte tendría sobre la célula

---

en turno, el cual afecta los costos de Manufactura y la habilidad para satisfacer los requerimientos del cliente.

#### **4.4.- ASPECTOS PARA LA IMPLEMENTACION.**

Mientras que en secciones previas de este capítulo hemos tratado sobre los aspectos técnicos asociados con el diseño de Manufactura Celular, es importante también señalar los aspectos suaves (blandos) para su implementación exitosa. Los métodos de diseño tratados en este trabajo son necesarios pero no suficientes para el éxito de las células debido a obstáculos tales como: Medidas de Evaluación, Sistema de Pago de Incentivos, Cultura y Niveles insuficientes de Educación y Entrenamiento. Aunque tales obstáculos son considerados aspectos suaves, pueden hacer más difícil la implementación y consumir más tiempo de proceso que el simple diseño y transformación Celular, por esta razón, necesitan ser añadidos estratégicamente empezando con un enfoque de equipo.

##### **4.4.1.- Crear un enfoque de equipo.**

Una etapa clave en la implementación exitosa de células de trabajo es crear un grupo que funcione siempre como equipo durante el proceso de diseño e implementación de Manufactura Celular, haciendo énfasis en el mismo para el desarrollo organizacional y los cambios de conducta requeridos.



Se recomienda que se integre un equipo central multidisciplinario cuya responsabilidad sea el diseño y la implementación de las células. Este equipo central sirve como base para el involucramiento de los empleados (capítulo 2) y por ello deberá estar formado de uno o dos miembros de cada una de las siguientes disciplinas (FIGURA 4.5):

- \* Ingenieros Industriales
- \* Ingenieros en Manufactura
- \* Supervisores de Producción
- \* Equipo líder de la célula
- \* Operadores

El equipo central requerirá además del apoyo de la administración, mantenimiento, planeación y control de la producción y de todos los demás departamentos que formen parte de la compañía.

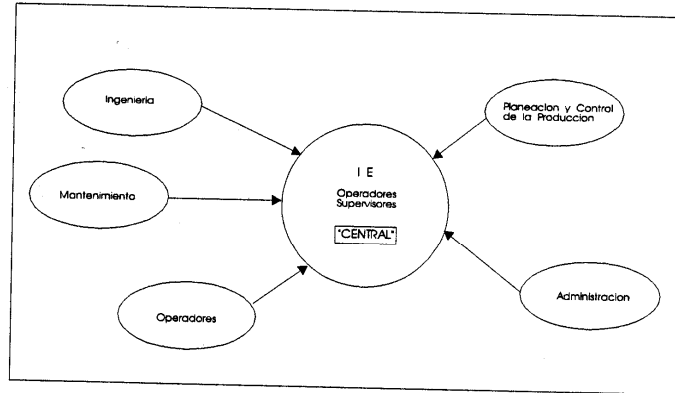


FIGURA 4.5. RELACION ENTRE EL EQUIPO CENTRAL Y OTRAS AREAS FUNCIONALES

La selección de los miembros más apropiados (especialmente para la primera ocasión) es un factor crítico para que el equipo funcione e incremente la probabilidad de células exitosas.

Es posible entonces seleccionar empleados que, en el pasado, hayan demostrado la habilidad y la buena voluntad para trabajar como miembros de un equipo para lograr los objetivos de la organización. Además de defender el potencial de los miembros del equipo será necesario darles un entrenamiento formal sobre cooperación y dinámica de grupos.

En algunos casos, un diseño e implementación más efectivo ocurrirá consultando a asesores externos, ya que traerá al equipo un alto nivel de experiencia y conocimientos en el área de diseño e implementación y podrá también dirigir el proyecto del equipo.

#### **4.4.2.- Sistema de incentivos obsoletos.**

Un problema común de muchas compañías interesadas en implementar Manufactura Celular es la existencia de un sistema de pago basado en incentivos. El problema es doble: primero, el sistema de incentivos tradicional promueve una evaluación individual y no de equipo, como se requiere para la operación efectiva de la célula, y segundo, cuando cambian a los conceptos de Manufactura Celular, los métodos usados para fabricar el producto cambian significativamente. Estos

cambios, en muchos casos, ejecutan la producción actual con estándares obsoletos, y por ésta razón las bases para un sistema de pago por incentivos no es válida.

El sistema de incentivos tradicional es normalmente desarrollado por el trabajo de un operador en forma individual o por un proceso individual. Dada ésta estructura de pago, no hay incentivo para un operador que ayude a otro en la elaboración del producto. En realidad puede considerarse un obstáculo que impide a un operador ayudar a otros debido a que le consume tiempo a su operación, reduce su tasa de producción y por lo tanto su pago de incentivos. Como consecuencia, cada operador construye una muralla a su alrededor en un esfuerzo por maximizar su ingreso.

Esta conducta es generada por sistemas de incentivos tradicionales y deja de ser consistente con el proceder de los estándares de organizaciones de Manufactura de Clase Mundial y, además, es un inhibidor para un efectivo funcionamiento de Manufactura Celular. Las células efectivas requieren de cooperación colectiva de esfuerzos de todos los involucrados para que la calidad y la productividad sean alcanzadas y mejoradas continuamente. De donde, si se tiene un sistema de pago de incentivos que promueva la evaluación individual impedirá el trabajo en equipo, un obstáculo común que muchas compañías tiene que superar cuando implementan Manufactura Celular.

---

#### 4.4.4.- Educación y entrenamiento.

La transición de fabricación tradicional por lotes a Manufactura con un enfoque basado en células, requiere cambios en la estructura organizacional, responsabilidad en las tareas, en los sistemas de recompensa y de evaluación. En el capítulo 2, presentamos la importancia que tiene preparar a los empleados para estos cambios y ayudarlos a superar la resistencia natural al cambio.

Uno de las mejores formas de obtener lo mejor del equipo, es enviarlos a visitar una compañía que haya implementado Manufactura Celular. Esta visita beneficiará también a otros miembros de la organización incluida la administración; ya que ofrece una experiencia real con los enfoques de Manufactura Celular. Durante la visita, será importante discutir los siguientes puntos con la gente involucrada en la implementación de células:

- \* ¿Qué beneficios han obtenido?
- \* ¿Cuáles fueron los errores más comunes que se cometieron?

Además de la visita a la planta, al empezar el proyecto, los miembros del equipo deberán recibir entrenamiento sobre la importancia que tienen los conceptos de Manufactura Celular ( ventajas, forma de operar la célula, trabajo en

---

equipo, el papel de la reducción del tiempo de preparación y de fabricación y como lograrlo).

Una verdadera ventaja asociada con Manufactura Celular es la oportunidad de tener operadores multifuncionales. Para poder obtener las ventajas del potencial y flexibilidad de estos operadores deberá dárseles un entrenamiento cruzado apropiado. Para determinar el nivel mínimo de entrenamiento cruzado requerido para lograr la ejecución deseada de la célula, deberán usarse los conceptos y métodos presentados en la sección 4.2.