

Aplicación de herramientas de pensamiento sistémico para el aprendizaje de Lean Manufacturing

Applying systems thinking to Lean Manufacturing learning

Johan Armando Dinas Garay

Ing., Universidad Icesi, Cali, Colombia
johandinas@gmail.com.

Paula Franco Cicedo

Ing., Universidad Icesi, Cali, Colombia
papaulis@gmail.com.

Leonardo Rivera Cadavid

Ph.D., Universidad Icesi, Cali, Colombia
,leonardo@icesi.edu.co.

Fecha de recepción: 16-03-2009

Fecha de selección: 28-10-2009

Fecha de aceptación: 03-08-2009

ABSTRACT

Lean Manufacturing seeks to eradicate waste. This pursuit is conducted changing many pre-conceptions inherited from the mass production traditions. It is necessary to understand immediate and delayed impacts of the changes, as well as direct and indirect results of these changes. This systemic approach should enhance the learner's understanding of the system (the manufacturing company), its variables, its outcomes, and the relationships among the system's components. This paper presents the process of designing a course to teach Lean Manufacturing to working professionals using sys-

tems thinking. This design process is conducted for the development of job competencies and using Active Learning Strategies.

KEYWORDS

Lean Manufacturing, Systems Thinking, Curricular Design.

RESUMEN

Lean Manufacturing es una filosofía de producción que busca erradicar el desperdicio. Esta búsqueda se realiza desafiando muchos de los prejuicios heredados de las tradiciones de la producción en masa. Es necesario entender los impactos inmediatos y los no inmediatos que ocurrirán por

los cambios en el sistema de producción, así como los resultados directos e indirectos de su implementación. Esta perspectiva sistémica debería mejorar la comprensión del sistema (la compañía manufacturera) que el estudiante podrá alcanzar. Así mismo, se espera que el estudiante mejore su visión de las variables del sistema, sus salidas y las relaciones entre los distintos componentes del sistema. En este artículo se presenta el proceso de diseño de un curso de Lean Manufacturing dirigido a profesionales de empresa, aplicando

pensamiento sistémico. El proceso de diseño curricular se realiza con el objetivo de desarrollar competencias laborales en el tema de Lean Manufacturing y se hace siguiendo la filosofía educativa de la Universidad Icesi, en la que juegan un papel central las Estrategias de Aprendizaje Activo.

PALABRAS CLAVE

Lean Manufacturing, pensamiento sistémico, diseño curricular

Clasificación Colciencias: Tipo 1

I. INTRODUCCIÓN

Lean Manufacturing es una filosofía empresarial moderna que se concentra en reducir el desperdicio en los procesos operativos con el fin de que estos sean lo más eficientes posible. Lean Manufacturing ha sido desarrollada por Toyota (Womack *et al.*, 1990; Ohno, 1988; Monden, 1998), y ha sido fruto de la combinación del contexto histórico, la cultura nacional, la cultura de Toyota y la aplicación de la ingeniería industrial y del sentido común a las necesidades de la empresa. Lean Manufacturing ha generado un creciente interés por los excelentes resultados que se han alcanzado a través de su implementación, no solamente en Toyota sino en varias compañías de distintos países del mundo y sectores industriales (Lean to the Bone, Dell, 2008; Pratt & Whitney plus the ACE of Lean, Pratt & Whitney, 2008).

Para lograr este objetivo es necesario tener una mirada general que permita localizar las verdaderas causas del desperdicio, no las más obvias sino las causas raíz. Solo una mirada amplia, que comprenda a Lean Manufacturing como una herramienta sistémica, logrará importantes resultados de productividad. Cada herramienta de Lean tiene un impacto en el desempeño global de la compañía y esta relación debe ser comprendida.

La difusión de Lean Manufacturing como filosofía de producción es aún incipiente en las Universidades en el medio colombiano; solamente ha sido incorporada desde hace unos cinco años en los programas de Ingeniería Industrial y en algunos programas de postgrado en Ingeniería Industrial y en Administración. Pensamiento

Sistémico ha sido impartido desde hace muchos más años y existe alguna familiaridad con su enseñanza en distintos programas y facultades. Además, Lean Manufacturing está orientada al entrenamiento seguido de la aplicación, por lo que se ha considerado que los estudiantes que se desempeñan profesionalmente en áreas operativas de empresas manufactureras pueden ser un público que aproveche estos conceptos en un curso de Educación Continuada. Por esa misma orientación a la acción, las Estrategias de Aprendizaje Activo que la Universidad Icesi utiliza como parte de su Proyecto Educativo son especialmente adecuadas para el aprendizaje de Lean Manufacturing.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma: En la primera sección se presentarán los antecedentes y marco conceptual de Lean Manufacturing, Pensamiento Sistémico y el Proyecto Educativo Institucional de la Universidad Icesi. En un segundo punto se explicará el proceso a seguir en el desarrollo del currículo del curso. La tercera sección muestra el curso propiamente dicho, presentando la estructura de contenidos y de actividades de formación. Finalmente, se revelan los principales aprendizajes obtenidos en este desarrollo y se presentan algunas ideas para posterior examen e investigación.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Lean Manufacturing

2.1.1. Historia

El término Lean Manufacturing fue acuñado en el libro "The Machine

that Changed The World” (Womack *et al.*, 1990), que recopila las mejores prácticas mundiales de la industria automotriz y destaca como sobresalientes las de Toyota Motor Company. Lean Manufacturing es una preocupación y persecución incansable por reducir los desperdicios en una organización y esta preocupación nació en Toyota. Henry Ford fue uno de los primeros en perseguir este objetivo ampliamente (Levinson, 2002). Ford rediseñó el automóvil para que fuera no solo más fácil de producir sino más fácil de mantener, estandarizando el diseño y las partes para un fácil ensamble. Redujo tanto las partes requeridas por los carros como los movimientos de los trabajadores. Otro aspecto importante, tal vez el que más se recuerda, fue la creación de la línea de ensamblaje que permitió que los autos fueran a las estaciones de trabajo, reduciendo tiempos de transporte y nivelando la velocidad de producción. Estas ventajas se perdieron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los mercados cambiaron y la demanda de los clientes por una mayor variedad de opciones se acentuó. Al verse obligada a manejar mayor variedad de productos en lotes más pequeños, los tiempos dedicados a los alistamientos se incrementaron, el tiempo de los productos en el sistema se prolongó y esto aumentó los inventarios en proceso. La empresa dejó de ser tan eficiente como era en sus inicios.

Después de la Segunda Guerra, los recursos en Japón eran evidentemente limitados. Las empresas no contaban con grandes cantidades de capital de trabajo para adquirir materias primas. Además, no existían grandes

espacios en las plantas para guardar dichas materias primas en caso de adquirirlas. Finalmente, a Toyota se le solicitó que produjera todas las clases de vehículos necesarias en el mercado local, desde vehículos privados de pasajeros, pasando por camionetas para pequeños negocios y granjeros y camiones semi-pesados de uso comercial, por lo que el establecimiento de grandes fábricas especializadas en un solo tipo de vehículo (al estilo estadounidense) era injustificable. Además, en 1949 Toyota atraviesa una grave crisis financiera que la pone cerca a la quiebra. En la intervención de salvamento, el grupo de bancos financiadores le exige a la empresa que reduzca notablemente su plantilla de personal, que separe las tareas de producción y distribución de los productos en dos compañías diferentes y que ajuste las cantidades de automóviles producidos a los realmente vendidos por la sociedad distribuidora (Coriat, 1996). Estas demandas cimentan aún más la necesidad de producir con limitaciones de recursos, con una mayor variedad de productos de lo que se solía hacer en otras fábricas automotrices y generan los fundamentos de la producción Justo a Tiempo.

2.1.2. Desperdicio según Lean Manufacturing.

Los principios fundamentales de Lean Manufacturing radican en la eliminación del desperdicio. Ohno (1988) identifica siete clases principales de desperdicio:

- *Sobreproducción:* Producir artículos cuando estos no han sido ordenados por el cliente. Esto provoca incremento del in-

ventario y sus costos asociados, como costos de almacenamiento, riesgo de obsolescencia y espacio ocupado.

- *Espera:* El operador debe esperar a que una parte termine de ser procesada, a que esté disponible una estación o herramienta.
- *Transporte:* Mover un producto de un lado a otro innecesariamente. Tampoco agregan valor los movimientos intermedios como tomar una estiba, llevarla cerca a la máquina, descargar la carga y luego volverla a tomar para cargar la máquina. Este tipo de desperdicio no solo implica gasto de tiempo, sino riesgos para los trabajadores y la carga que está siendo movida.
- *Sobreprocesamiento:* Poner cosas de más a un producto, hacer cosas que el cliente no nota. Por ejemplo, poner partes lujosas en un lugar no visible.
- *Inventario:* Exceso de inventario en cualquier parte del proceso trae problemas como altos costos de almacenaje, largos tiempos de entrega por tiempos de ciclo más largos y productos averiados. Además, es posible que un problema de calidad se oculte debido a que no se evidencia que se están produciendo unidades defectuosas sino hasta que no se ha consumido el inventario de producto conforme, evitando que se corrijan los errores.
- *Movimiento innecesario:* Esto se refiere al movimiento de los empleados y está representado principalmente por el desorden y la clasificación inadecuada.

- *Productos defectuosos o reproceso:* Producto defectuoso que debe ser reparado o desechado.

2.1.3. Técnicas y modelo de implementación de Lean Manufacturing.

Las técnicas que componen Lean Manufacturing llegaron al medio colombiano de manera fragmentada. En las décadas de 1980 y 1990 aparecieron varios libros gerenciales como *Justo a Tiempo* (Hay, 1989) y *¿Qué es el control total de calidad?* (Ishikawa, 1991) que presentaban algunos aspectos de lo que en Toyota ya se aplicaba de manera integrada. Otras palabras clave que se han escuchado en diferentes momentos incluyen Kaizen (mejoramiento continuo), Kanban (sistema de visual para el control de producción y movimiento de materiales), Jidoka (sistema para evitar errores), entre otros.

Evidentemente estas palabras clave identifican técnicas de mejoramiento que no deben aplicarse desordenadamente; cada una de ellas aporta unos aprendizajes específicos a la empresa. Rivera (2008) propone la justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing, cuya estructura se presenta en la Figura 1.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las técnicas indicadas en el modelo de implementación:

- *Kaizen:* Es el mejoramiento continuo. Es la acumulación gradual de los mejoramientos propuestos e implementados por todos los miembros de la empresa. Kaizen es una disciplina que demuestra

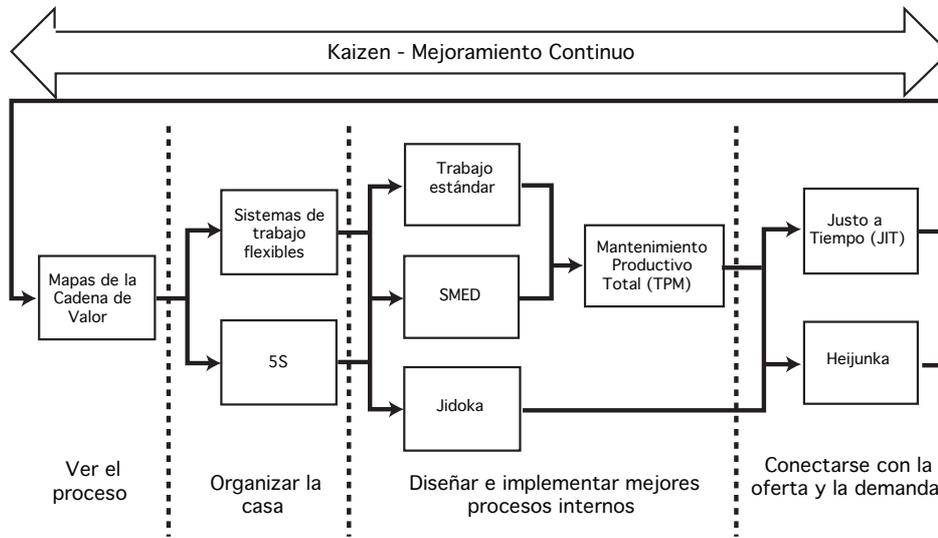


Figura 1. Modelo de Implementación de Lean Manufacturing. (Adaptación del autor).

un profundo cambio cultural que ocurre a través de la acción.

- *Mapas de la Cadena de Valor (Value Stream Maps)*: Son mapas globales del flujo del producto y la información, desde la recepción de la orden hasta la entrega del producto terminado. Permiten detectar actividades que agregan valor y separarlas de las que no lo agregan en el proceso de manufactura de un producto o familia de productos.
- *5S*: Es la progresiva implementación de las disciplinas del orden y la limpieza. Viene de cinco palabras japonesas que empiezan por la letra S: *Seiri* (Utilización, tener solo lo que se necesita), *Seiton* (Orden, un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar), *Seiso* (Limpieza, mantener el lugar de trabajo aseado antes y después de su utilización), *Seiketsu* (Estanda-

rización, crear los procedimientos para la aplicación continuada de las tres primeras eses) y *Shitsuke* (Autodisciplina, crear los mecanismos para la auditoría, el seguimiento y el mantenimiento de las 5 S).

- *Sistemas de trabajo flexibles*: Es la organización de los recursos, las personas, los productos y los espacios físicos en celdas de manufactura. Esta agrupación demanda que los operadores tengan un conocimiento integral de las actividades de toda la celda, y con el estilo de gestión adecuado permite una mayor responsabilidad y autonomía por parte de los operadores.
- *Trabajo estándar*: Para aplicar un mejoramiento continuo a los procesos es necesario documentar las mejores prácticas en cada tarea y seguir procedimientos operativos

estandarizados. El uso de estándares facilita el mantenimiento de los mejoramientos logrados, el entrenamiento de nuevos operadores y la unificación de formas de operación en la compañía.

- *SMED (Single Minute Exchange of Die, alistamientos rápidos)*: Siempre que se requiera producir varias referencias diferentes en la misma infraestructura, será necesario realizar alistamientos. Los alistamientos reducen el tiempo disponible para producir, por lo que se han desarrollado una serie de técnicas y principios para cambiar las operaciones de alistamiento, y reducir su duración de manera dramática (Shingo, 1985).
- *JIDOKA*: Es la prevención de errores en el proceso, a través del rediseño de los equipos, las operaciones y los productos. Se deben evitar los errores humanos (Poka Yoke) y los errores del proceso. De igual forma se aplica la inspección 100% y en la fuente para que en cada operación sucesiva se aseguren los resultados de calidad de los anteriores. Se aplica también la automatización con sentido humano (autonomation) para la prevención de defectos y para que los procesos repetitivos sean ejecutados por la máquina, de tal forma que los operadores humanos puedan dedicarse a operaciones de mayor valor agregado y complejidad cognitiva (Shingo, 1986).
- *Mantenimiento Productivo Total (TPM, Total Productive Maintenance)*: TPM consiste en la conversión del “tiempo perdido” en mantenimiento a tiempo productivo. Su principal objetivo es el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, así como la reducción de la variabilidad en su funcionamiento. Esto se logra a través del mantenimiento autónomo y de la aplicación de las herramientas de 5S.
- *Justo a Tiempo (Just in Time, JIT)*: Como su nombre lo indica, consiste en producir y mover la cantidad precisa de materiales y productos en el momento justo en el que son requeridos. JIT se implementa utilizando el sistema de kanban, que consiste en el control de la transformación y movimiento de materiales a través del uso de dispositivos visuales (tarjetas, contenedores, señales), de manera que la cantidad y ubicación de los materiales en el proceso se controla por diseño.
- *Heijunka (Producción Suavizada)*: En la constante búsqueda de hacer que el producto fluya más suavemente y en lotes cada vez más pequeños se llegó a Heijunka, que en esencia implica replicar las proporciones de la mezcla de productos en el intervalo más pequeño posible. El ideal es la producción y movimiento de una unidad de producto a la vez (one piece flow). Esta producción suavizada genera más movimientos de materiales, por lo que la infraestructura de manejo de materiales debe adaptarse a esta realidad para evitar un desbordamiento de costos por este concepto.

2.2. Pensamiento sistémico

Muchas de las entidades que se observan en la vida cotidiana son sistemas.

En una determinada situación se ven diferentes variables de entrada, componentes que interactúan con ciertas reglas, efectos deseados o indeseados y se invierten grandes esfuerzos en conocer, comprender y predecir el comportamiento de estos sistemas para obtener los resultados esperados. El Pensamiento Sistémico es una de las herramientas de la Dinámica de Sistemas, que por medio de la identificación de reglas, patrones y sucesos en un sistema permite hacer predicciones sobre el comportamiento de este. Gracias al conocimiento de estos elementos se puede ejercer más control en el sistema, prepararse para el futuro e influir y modificar los elementos del sistema y sus interrelaciones.

El análisis a través del Pensamiento Sistémico debe romper la óptica tradicional que sigue un comportamiento lógico, representado en tres puntos principales:

- La causa y el efecto están separados y el efecto se produce después de la causa.
- El efecto sigue a la causa en espacio y tiempo.
- El efecto es proporcional a la causa

Para el Pensamiento Sistémico estas relaciones no se presentan necesariamente de esa manera, pues el efecto puede convertirse en la causa futura de un comportamiento cíclico. Por esto, desde la mirada del pensamiento sistémico también se deben analizar los efectos secundarios de un cambio que se pueden ver reflejados en cualquier componente al sistema y no necesariamente donde se esperaba el efecto o donde se aplicó el cambio.

2.2.1. Sistemas simples y complejos.

“Todo sistema se fundamenta en la interacción de las partes que lo forman, en consecuencia, las relaciones entre las partes y su influencia mutua son más importantes que la cantidad de partes del sistema o el tamaño de las mismas” (O’Connor y McDermott, 1998). La *complejidad de detalle* es la cantidad de partes que componen un sistema, que se pueden ver como las piezas de un rompecabezas. Por otro lado, la *complejidad dinámica* es la forma en la que se relacionan los elementos de un sistema.

Los *sistemas simples* son aquellos en los que ambos tipos de complejidades son bajas porque contienen pocas partes y la interacción entre ellas es simple. Los *sistemas complejos* contienen muchas partes que interactúan formando subsistemas que pueden cambiar de un estado a otro. Estos sistemas suelen ser estables y presentar una alta resistencia al cambio.

2.2.2. Ciclos de realimentación.

Para entender el comportamiento de un sistema se debe partir de los subsistemas que lo conforman. El comportamiento de los subsistemas se ve representado por ciclos de realimentación que son la “*reacción del sistema que se regenera en forma de estímulo o la información devuelta que influye en un paso siguiente*” (Op. Cit., p. 51) . Estos ciclos de realimentación son de dos clases:

- *Ciclos de realimentación de refuerzo* en donde el cambio recorre todo el sistema produciendo más cambios en la misma dirección, amplificando la causa de la cual

partió. Gracias a este comportamiento se pueden presentar círculos viciosos o virtuosos.

- En los *ciclos de balance o compensación* los cambios registrados en todo el sistema se oponen al cambio original para amortiguar su efecto.

2.2.3. Diagramas causales.

Una de las herramientas más útiles para representar y comprender el comportamiento de los sistemas es el *Diagrama Causal*. En este diagrama se presentan las variables del sistema, tanto las de entrada (causas) como las de salida (resultados o efectos), de forma que sea posible observar la influencia que unas tienen sobre otras. En estos diagramas se pueden presentar variables internas del sistema, influencias recibidas desde el exterior, demoras en la presentación de efectos y la presencia de ciclos reforzadores o de balance en el comportamiento del sistema (Figura 2).

En los Diagramas Causales, una flecha que conecta dos variables representa la influencia que una de las variables tiene sobre la otra (la variable en la cabeza de la flecha *recibe* la influencia de la que está al inicio de la flecha). Generalmente se utiliza un signo para especificar la dirección de la influencia (positivo si la influencia es en la misma dirección: A mayores esfuerzos, mayores resultados; negativo si es en dirección contraria: A mayor acción decreciente, menores resultados).

2.2.4. Demoras.

En muchas situaciones el efecto de una intervención en el sistema no se observa inmediatamente. En estos casos se presenta una *demora*. El típico ejemplo se puede observar en el control de la temperatura en una ducha; cambiar el flujo del agua caliente no se traduce en un ajuste inmediato de la temperatura de salida. Las demoras se representan en los diagramas causales con una válvula (Figura 3).

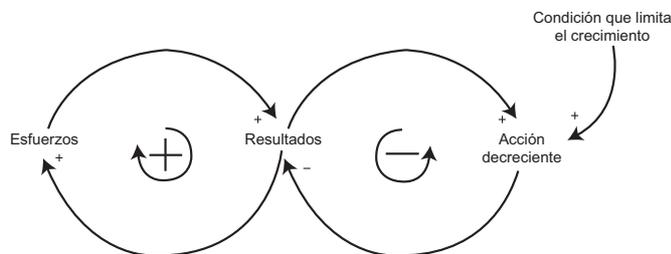


Figura 2: Diagrama causal

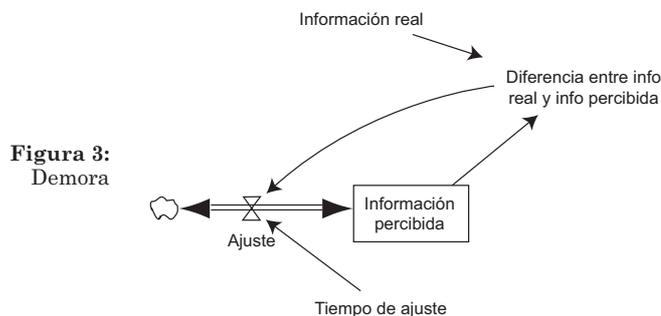


Figura 3: Demora

2.3. Programa Educativo de la Universidad Icesi

La Universidad Icesi se distingue por contar con un Programa Educativo Institucional que se aplica en todas sus Facultades y Programas de pregrado y postgrado. Dada su extensión no se mencionarán aquí todas sus partes, pero dos aspectos relevantes para la presente propuesta son las estrategias de Aprendizaje Activo y el Modelo de Diseño Curricular.

2.3.1. Estrategias de Aprendizaje Activo.

La Universidad ICESI ha escogido las estrategias de aprendizaje activo, y ha privilegiado este modelo sobre la educación tradicional con base en el convencimiento de que cada individuo es dueño de su aprendizaje y que si no es por su voluntad de aprender, nadie puede enseñarle. El conocimiento no es algo que se inyecta o se le da a las personas, son las personas quienes construyen su conocimiento apoyadas en las herramientas que les brinda la universidad, su compromiso y su actitud. En el modelo tradicional los esfuerzos se centran en el profesor como fuente de conocimiento y no en el alumno; la responsabilidad queda en el profesor y el aprendizaje del estudiante depende de este, desperdiciando el potencial particular de cada estudiante. Es por esto que la universidad ha optado por un modelo en el que cada individuo construye su conocimiento con estudio, reflexión y experiencia. Se espera que el profesor diseñe experiencias que devuelvan al estudiante la autonomía de su aprendizaje, que lo motiven y le den las herramientas para que por su propio esfuerzo alcance los objetivos del curso. Se busca que cuestione y deje

dudas que inquieten la actividad de pensamiento en los estudiantes.

“Para que exista aprendizaje activo los estudiantes deben hacer mucho más que simplemente oír; deben leer, cuestionarse, escribir, discutir, aplicar conceptos, utilizar reglas y principios, resolver problemas. El aprendizaje activo implica que el estudiante debe estar expuesto continuamente, bien sea por voluntad propia o porque la estrategia utilizada por el profesor así lo exige, a situaciones que le demanden operaciones intelectuales de orden superior: análisis, síntesis, interpretación, inferencia y evaluación”. (González, 2003).

Cuando se aplican estrategias de aprendizaje activo es necesario presentar una combinación de actividades y experiencias que estimulen a los estudiantes a pasar más allá de la memorización de los contenidos teóricos. Algunos puntos específicos sugeridos por González son:

- Relacionar el material en discusión con el contenido previo y con el siguiente.
- Balancear la presentación de información concreta (hechos y datos) con los conceptos abstractos (principios y teorías).
- Presentar material que enfatiza los métodos prácticos para resolver problemas y material que enfatiza los principios fundamentales.
- Utilizar dibujos, esquemas, gráficos y diagramas en todos los momentos de la presentación del material. Solicitar a los estudiantes que desarrollen sus propios diagramas para *explicar* el material visto.

- Utilizar actividades como trabajo en parejas y en grupos, discusiones prácticas, solución de problemas, simulaciones por computador, ejercicios dinámicos y vivenciales, proyectos dentro y fuera de clase, exposiciones orales y elaboración de documentos escritos para apoyar el aprendizaje y experimentación de las habilidades que se pretende fortalecer en cada curso.
- Las exposiciones magistrales no deben ser el principal recurso empleado. Deben utilizarse para introducir nuevos conceptos, solucionar dudas e integrar temas y conclusiones de los ejercicios realizados.

2.3.2. Modelo para el diseño curricular de las asignaturas de la Universidad Icesi.

Este modelo, diseñado por el director académico de la Universidad Icesi, José Hernando Bahamón, busca facilitar el cambio del diseño de cursos para la educación “tradicional” al diseño de currículos para cursos que cumplan con los requerimientos del modelo educativo de la Universidad Icesi.

El marco del modelo educativo de la universidad propone como una de las responsabilidades esenciales del docente diseñar y administrar experiencias de aprendizaje a los estudiantes, en su proceso de los cursos. “Por diseñar y administrar experiencias de aprendizaje, entendemos la planificación y gestión de actividades y ayudas, orientadas a facilitar en cada estudiante el proceso de construcción de su propio conocimiento, a partir del procesamiento profundo de la información que se va a aprender.

Esto implica por parte del docente la planificación de cómo, cuándo, dónde y por qué utilizar determinadas actividades de aprendizaje” (Bahamón, 2007).

El diseño de la experiencia de aprendizaje no es un proceso rígido o estático, depende de las características del grupo de estudiantes y de su evolución en el curso. “El diseño de las experiencias de aprendizaje se constituye entonces en un proceso de reflexión del docente acerca del qué hacer” (Op. Cit.).

Para la preparación correcta de un curso los profesores deben resolver las siguientes preguntas:

- ¿Cómo iniciar el curso?
- ¿Por qué comenzar donde hoy lo hace?
- ¿Qué hacer en clase: dictar el tema magistralmente o realizar discusiones sobre éste?
- ¿Cuáles son las tareas y evaluaciones relevantes para verificar el aprendizaje de los estudiantes?
- ¿Cómo terminar el curso?
- ¿Qué se propone lograr en el proceso de enseñanza aprendizaje, formar personas que piensan críticamente, personas que tienen nuevas disposiciones, o personas que saben y pueden hacer cosas con lo que saben?
- ¿Qué enseñar a los estudiantes acerca del campo disciplinar: métodos, procedimientos, valores, teorías, categorías, conceptos?
- ¿Cómo establecer relaciones del curso con otros cursos en el mismo campo disciplinar o en

otros campos, o con su experiencia profesional?

- ¿Qué espera que los estudiantes encuentren absolutamente fascinante en este curso?
- ¿Cómo manejar las dificultades de motivación?
- ¿Cómo abordar los temas que presentan mayor dificultad de comprensión y aprendizaje?

El modelo y metodología para diseño de currículos de la universidad se basa en el modelo de alineamiento constructivo planteado por John Biggs en 1999, el cual plantea la necesidad de alinear los objetivos de aprendizaje con las estrategias de enseñanza-aprendizaje, con los mecanismos de evaluación y los materiales de aprendizaje (Figura 4).

Los pasos de este modelo de alineamiento constructivo son, a grandes rasgos:

- *Definición de los objetivos:* Los objetivos de aprendizaje, en este caso, le presentan al estudiante dónde se espera que llegue en términos de conocimientos y capacidades (objetivos terminales) y qué pasos progresivos debe ir cumpliendo para lograrlo (objetivos específicos). “Los objetivos de aprendizaje definen, entonces, los comportamientos, o acciones, que los estudiantes estarán en capacidad de realizar al final de una asignatura” (Bahamón, 2007).
- *Definición de elementos de aprendizaje:* Para alcanzar los objetivos de aprendizaje con este modelo curricular se propone definir cada



Figura 4: Modelo de alineamiento constructivo (John Biggs, citado por J. H. Bahamón).

objetivo de aprendizaje según sus contenidos, en términos de los tres saberes mencionados en la taxonomía de Bloom (saber conocer, saber hacer y saber ser).

- *Definición de recursos y materiales:* Después de definir los diferentes elementos de aprendizaje y secuenciarlos y agruparlos de manera que sea más fácil alcanzar los objetivos de aprendizaje, se definen los recursos y materiales que serán necesarios para cada elemento.
- *Definición de estrategias didácticas:* Una vez alcanzado este nivel, a continuación se definen las estrategias didácticas para cada elemento y por cada categoría del saber. Aquí se especifica si se realizarán lecturas, discusiones en clase, tareas, proyectos prácticos, visitas de campo, proyectos, exposiciones y otros tipos de actividades para cada unidad de aprendizaje.
- *Diseño de estrategias de evaluación:* Por último se diseñan las estrategias de evaluación teniendo en cuenta que deben ser coherentes con los objetivos, elementos, materiales y estrategias de aprendizaje ya definidos. "Debemos enfatizar aquí que el propósito fundamental de la evaluación, su esencia misma, es obtener información que permita guiar al estudiante para que él alcance los objetivos de aprendizaje propuestos para la asignatura" (Op. Cit.).

Para cada una de estas fases en el desarrollo del curso, Bahamón presenta plantillas y formatos que facilitan

completar el diseño del curso, el despliegue en los temas, la asignación de contenidos y materiales, las actividades a realizar en las clases y las estrategias de evaluación a aplicar.

3. DESARROLLO DEL CURSO PARA ENSEÑAR LEAN MANUFACTURING APLICANDO PENSAMIENTO SISTÉMICO

3.1. Definición del perfil del estudiante

Los objetivos de aprendizaje fueron definidos de acuerdo con las necesidades de aprendizaje y según el perfil de los estudiantes a los que va dirigido el curso. Para esto se definió este perfil con la colaboración de Mónica Aguirre, directora de Educación Continua de la Universidad Icesi.

El perfil del estudiante para el Curso de Educación Continua de Lean Manufacturing es:

El curso de Educación Continua de Lean Manufacturing estará dirigido a profesionales que se desempeñan en áreas de logística y producción, que se encuentren entre los 22 y los 40 años. Este curso podrá dictarse de forma abierta, donde se dirige a profesionales de diferentes empresas, o cerrada donde el curso es dictado a personas de una empresa específica.

3.2. Definición de los objetivos de aprendizaje del curso

Después de tener claro el perfil del estudiante al cual irá dirigido el curso se definió qué se pretende que los estudiantes aprendan y sean capaces de desarrollar.

Con base en esta información se definieron:

- Objetivo general del curso
- Objetivos terminales
- Objetivos específicos

Objetivo general:

Al finalizar el curso el estudiante podrá plantear propuestas de mejoramiento sistémicamente deseables para la organización aplicando técnicas y principios de Lean Manufacturing

Objetivos terminales:

A. Al finalizar el curso, el estudiante podrá, dada una situación real o hipotética, encontrar los puntos clave de la problemática, basándose en los principios generales de la filosofía Lean Manufacturing

a. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá explicar la filosofía general de Lean Manufacturing identificando además cada una de las causas del desperdicio, el concepto de flexibilidad en la producción y el concepto de Pull.

b. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá interpretar y aplicar la filosofía Lean Manufacturing en diferentes escenarios.

B. Al finalizar el programa, el estudiante podrá explicar las técnicas de Lean Manufacturing y expresar su utilidad en diferentes situaciones, planeando su aplicación para situaciones reales o hipotéticas.

a. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá describir los fundamentos y dife-

rentes elementos de las técnicas de Lean Manufacturing.

b. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá interpretar el resultado de la aplicación de cualquier técnica de Lean Manufacturing, identificando las técnicas adecuadas y los métodos apropiados para la aplicación.

C. Dado un escenario real o hipotético, el estudiante podrá analizar y formular el comportamiento sistémico entre las técnicas de Lean Manufacturing, las decisiones gerenciales y los resultados de las variables de desempeño internas y externas a la organización.

a. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá describir las relaciones entre las técnicas para la implementación de Lean Manufacturing.

b. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá diseñar un diagrama sistémico que relacione las principales herramientas de Lean Manufacturing y las variables de desempeño de la situación.

D. Al finalizar el programa, el estudiante podrá diseñar un plan sistémico de mejoramiento desde su puesto de trabajo basado en Lean Manufacturing.

a. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá analizar su puesto de trabajo, identificando dificultades y oportunidades de mejoramiento para reducir el desperdicio y mejorar el proceso de agregación de valor.

b. (*Objetivo Específico*) Al finalizar el programa, el estudiante podrá rea-

lizar un plan de implementación de Lean Manufacturing, teniendo en cuenta el comportamiento sistémico de la organización para direccionar los esfuerzos, de manera que la implementación sea más productiva.

3.3. Selección de los contenidos del curso

La selección de los contenidos del curso se hizo teniendo en cuenta que estos comprendieran todos los componentes teóricos que permitan al estudiante alcanzar los objetivos de aprendizaje. Para esto se hizo una revisión bibliográfica donde se eligieron los temas que se deben tratar. Así mismo se tuvieron en cuenta los

temas tratados en cursos anteriores sobre Lean Manufacturing. Para el componente de pensamiento sistémico que comprenderá el curso, se obtuvo la asesoría del profesor del curso en pregrado y postgrado en la Universidad Icesi, quien brindó una asesoría para la selección de estos contenidos.

Los contenidos de aprendizaje seleccionados están plasmados en las tablas de elementos de aprendizaje que se muestran a continuación. En este curso se especificará el saber conocer y el saber hacer de cada elemento de aprendizaje. El saber ser está todavía en discusión y plantea grandes dificultades para su especificación en el diseño curricular.

Tabla 1: Despliegue de Unidades Temáticas para el Curso

Objetivo de aprendizaje A1: Al finalizar el programa, el estudiante podrá explicar la filosofía general de Lean Manufacturing identificando además cada una de las causas del desperdicio, el concepto de flexibilidad en la producción y el concepto de Pull	
Saber conocer	Saber hacer
Los principios de la filosofía Lean Manufacturing. Historia, contexto y objetivos	
Comprender el concepto del desperdicio	Analizar un caso e identificar las principales causas de desperdicio
Los conceptos de flexibilidad en la producción y sistema Pull	Ilustrar la variabilidad, dependencia y conexión Pull

Objetivo de aprendizaje A2: Al finalizar el programa, el estudiante podrá interpretar y aplicar la filosofía Lean Manufacturing en diferentes escenarios	
Saber conocer	Saber hacer
Casos exitosos en otras empresas: <ul style="list-style-type: none"> • Países • Industrias • Empresas 	Analizar y comparar aplicabilidad de la filosofía en el sector servicios. <ul style="list-style-type: none"> • Desperdicio • Flexibilidad • Nivel de inventarios • Sistema Pull

(Continúa)

Objetivo de aprendizaje B1: Al finalizar el programa, el estudiante podrá describir los fundamentos y diferentes elementos de las técnicas de Lean Manufacturing	
Saber conocer	Saber hacer
Técnica Value Stream Mapping: <ul style="list-style-type: none"> • Concepto básico • Simbología • Elementos de análisis 	Analizar y realizar el VSM de un proceso real de su trabajo en la empresa
Técnica 5S: <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos • Herramientas • Aplicación • Ejemplos • Administración visual 	Análisis del puesto de trabajo siguiendo los pasos de 5's: <ul style="list-style-type: none"> • Clasificar • Organizar • Limpiar • Estandarizar • Autodisciplina
Kaizen: <ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento continuo • Sistema de sugerencias • Reconocimiento • Capacitación 	Realizar propuestas sobre sistemas de participación y reconocimiento que promuevan el trabajo en equipo y la generación de ideas.
Sistemas de trabajo flexible (Celdas): <ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores multifuncionales • Balanceo de línea • Takt time- Pitch • Familias de productos 	Diseño de celdas siguiendo el procedimiento algorítmico Cálculo de tiempos de ciclo, número de trabajadores y capacidad de la celda. Realizar cálculos de takt time y pitch.
Trabajo estandarizado: <ul style="list-style-type: none"> • Tiempos • Especificaciones • Procesos 	Explicar la importancia del trabajo estandarizado en la eficiencia y calidad de los procesos. Manejar el estándar de trabajo de la celda y la hoja de combinación de trabajo estandarizado
Técnica Jidoka: <ul style="list-style-type: none"> • Concepto • Poka Yoke • Andon • Autonomation • Inspección en la fuente 	Detectar oportunidades para la prevención y corrección de errores en los procesos de trabajo y en el uso de los productos
Técnica SMED: <ul style="list-style-type: none"> • Concepto • Alistamiento interno/externo • Implementación 	Diseñar propuestas de mejoramiento diferenciando actividades de alistamiento interno y externo. Describir las posibilidades técnicas para reducir el alistamiento interno.
Técnica TPM: <ul style="list-style-type: none"> • Concepto • Tipos de pérdidas • Ingeniería preventiva • Tipos de mantenimiento 	Explicar la importancia del mantenimiento autónomo y su impacto en el proceso productivo. Describir los diferentes tipos de pérdida asociados al estado de las máquinas y sus posibles soluciones

Objetivo de aprendizaje B1: Al finalizar el programa, el estudiante podrá describir los fundamentos y diferentes elementos de las técnicas de Lean Manufacturing	
Saber conocer	Saber hacer
Técnica justo a tiempo: <ul style="list-style-type: none"> • Flujo continuo • Nivel de inventarios • Kanbans 	Diseñar un sistema de producción que incluya control visual y uso de Kanbans.
Heijunka: <ul style="list-style-type: none"> • Concepto 	Utilizar la caja heijunka para programar la producción a partir de la demanda. Evaluar el costo-beneficio de programar la producción con esta técnica. Analizar las condiciones en que esta técnica es útil.

Objetivo de aprendizaje B2: Al finalizar el programa, el estudiante podrá interpretar el resultado de la aplicación de cualquier técnica de Lean Manufacturing, identificar las técnicas adecuadas y los métodos apropiados para la aplicación	
Saber conocer	Saber hacer
	Describir las ventajas y limitaciones de las técnicas de Lean Manufacturing.
	Analizar las condiciones de la empresa y determinar el plan de acción para la implementación de las técnicas.

Objetivo de aprendizaje C1: Al finalizar el programa, el estudiante podrá describir las relaciones entre las técnicas para la implementación de Lean Manufacturing	
Saber conocer	Saber hacer
Prerrequisitos de las técnicas	
Ventajas de la implementación de una técnica en la implementación de otras.	

Objetivo de aprendizaje C2	
Al finalizar el programa, el estudiante podrá diseñar un diagrama sistémico que relacione las principales herramientas de Lean Manufacturing y las variables de desempeño de la situación	
Saber conocer	Saber hacer
Los conceptos básicos de pensamiento sistémico: <ul style="list-style-type: none"> • Diagramas causales • Diagramas circulares • Retroalimentación y compensación • Relaciones directas e inversas 	Diseñar un diagrama circular con las herramientas de Lean Manufacturing donde se muestren los componentes de cada herramienta y las relaciones entre estos y los componentes de las demás herramientas. Analizar el diagrama y definir las relaciones entre herramientas que causan más impacto.

(Continúa)

Saber conocer	Saber hacer
	<p>Diseñar un diagrama causal donde se relacionen las principales técnicas de Lean Manufacturing y las variables internas y externas de una organización.</p> <p>Análisis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relaciones • Ciclos de retroalimentación • Ciclos de compensación • Comportamiento del sistema • Predicción de resultados

Objetivo de aprendizaje D1: Al finalizar el programa, el estudiante podrá analizar su puesto de trabajo, identificar dificultades y oportunidades de mejoramiento para reducir el desperdicio y mejorar el proceso de agregación de valor

Saber conocer	Saber hacer
	<p>A partir del value stream mapping analizar el proceso de agregación de valor, teniendo en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flujo de información • Flujo de material • Control y planeación de producción • Inventarios • Tiempos • Transporte
	<p>Evaluar las condiciones actuales del puesto de trabajo para detectar oportunidades de mejora</p>

Objetivo de aprendizaje D2: Al finalizar el programa, el estudiante podrá analizar su puesto de trabajo, identificar dificultades y oportunidades de mejoramiento para reducir el desperdicio y mejorar el proceso de agregación de valor

Saber conocer	Saber hacer
	<p>Diseñar un plan de implementación de Lean Manufacturing para aprovechar la comprensión sistémica de sus herramientas.</p>

3.4. Definición de las estrategias de aprendizaje

Las estrategias de aprendizaje se eligieron siguiendo la metodología de alineamiento constructivo. Estas estrategias son las que permitirán que el estudiante al finalizar el curso sea capaz de alcanzar los sa-

beres definidos en los elementos de aprendizaje presentados en las tablas anteriores.

Para el *saber conocer* la principal estrategia utilizada para el contenido del curso consiste en el estudio individual dirigido basado en el material bibliográfico pertinente para

cada contenido. Este será discutido en clase por medio de preguntas y ejemplificación. Para el *saber hacer* se definieron diferentes estrategias de aprendizaje entre ellas juegos, debates, casos de estudio, prácticas supervisadas y diseño de diagramas sistémicos.

La selección de las estrategias de aprendizaje tanto para el saber conocer como para el saber hacer fue cuidadosamente estudiada para cada componente del contenido del curso. Esto con el fin de que estas aporten a la comprensión, análisis y aplicación de lo aprendido en el curso. Para esto

el docente contará con herramientas audiovisuales como el blog de contenido Lean Sistémico (leansistemico.blogspot.com), estudio individual dirigido, prácticas supervisadas, análisis de casos, ejercicios en clase, diseño de diagramas circulares y diagramas sistémicos (causales) y análisis del puesto de trabajo. A continuación se presenta como ejemplo la Tabla 2, donde se especifica la estrategia de aprendizaje correspondiente a cada elemento de aprendizaje según el saber conocer y saber hacer para el Objetivo de Aprendizaje A1. También se muestran las lecturas correspondientes a cada tema.

Tabla 2: Estrategias de Aprendizaje para el Objetivo A1

Elemento de Aprendizaje	Material	Estrategia de aprendizaje
Saber conocer		
Los principios de la filosofía Lean Manufacturing. Historia, contexto y objetivos	Pensar al revés Capítulo 1: El espíritu Toyota Capítulo 4: Subcontratamiento y rentas relacionales Manual de Lean Manufacturing, Guía Básica. Cap 1: La historia de la Manufactura esbelta.	Estudio individual dirigido: Basándose en el material bibliográfico asignado en el cronograma el estudiante deberá realizar una lectura analítica con el fin de comprender los conceptos. Discusiones en clase: Discutir preguntas y puntos de vista planteados por los estudiantes.
Comprender el concepto del desperdicio	Manual de Lean Manufacturing, Guía básica Sección 2.3: Desperdicios	Uso de ejemplos reales donde se muestre la aplicación del tema propuesto
Los conceptos de flexibilidad en la producción y sistema Pull	Competitive Manufacturing Management Cap 8: Pull production systems	

Elemento de Aprendizaje	Material	Estrategia de aprendizaje
Saber hacer		
Analizar un caso e identificar las principales causas de desperdicio	Competitive Manufacturing Management Case in point: agility at prince castle pag. 96 Case in point: Toyota production system – Lean Production and JIT prototype pag. 13	Estudio de casos: basándose en un caso asignado por el profesor el estudiante aplica los conocimientos sobre el desperdicio adquiridos en clase, con el fin de identificar los problemas y las posibles soluciones. Juego de los fósforos

3.5. Definición de las estrategias de evaluación de los resultados del aprendizaje

Para la evaluación del curso se escogieron estrategias de evaluación alineadas con los principales objetivos del curso y el perfil de sus estudiantes. De esta manera se consiguió que las actividades de evaluación fueran un proceso justo y coherente con el modelo curricular de la Universidad. Estas estrategias de evaluación fueron pensadas teniendo como objetivo orientar y seguir aportando en el proceso de enseñanza-aprendizaje, más que solo calificar un resultado concreto. En la Tabla 3 se presentan como ejemplo las estrategias de evaluación del Objetivo de Aprendizaje A1.

3.6. Desarrollo de estrategias de aprendizaje

En este punto se presentarán algunos ejemplos de los materiales que se usan para el aprendizaje de los diferentes temas.

3.6.1. Blog de Contenido Lean Sistémico.

En el blog Lean Sistémico (leansistémico.blogspot.com) encontrará videos que ejemplifican la aplicación de las

diferentes técnicas de Lean Manufacturing, casos de empresas donde se aplique la filosofía Lean para que estén a disposición de los estudiantes en todo momento y puedan acceder a este material fácilmente desde cualquier lugar. En la medida que se dicta el curso, el blog se debe enriquecer con la adición de nuevo material el cual puede ser colgado tanto por el docente como por los alumnos. El uso de esta herramienta tecnológica permite que la actualización del material sea dinámica y frecuente, además que involucra directamente la participación del estudiante en este proceso. La Figura 5 presenta una imagen de la pantalla inicial del blog.

3.6.2. Estudio Individual dirigido.

Basándose en el material bibliográfico asignado en el cronograma el estudiante deberá realizar una lectura analítica con el fin de asumir los conceptos que comprende la lectura. A partir de este análisis el estudiante podrá participar en las discusiones en clase que tratarán el tema leído; formular preguntas para resolver sus dudas y expresar sus puntos de vista sobre el tema.

Tabla 3: Estrategias de evaluación del Objetivo de Aprendizaje A1

Elementos	Estrategias de evaluación	Criterios de desempeño	Momento de aplicación
Saber hacer	Solución de caso	El estudiante encuentra situaciones problemáticas que van en contra de la filosofía Lean Manufacturing y las soluciones propuestas se ajustan a la filosofía, incluyendo los puntos relevantes sobre desperdicio, manejo y programación de la producción que se encuentren en el caso.	En tiempo de clase



Figura 5: Imagen del blog Lean Sistemico

Para esto el estudiante deberá realizar la lectura de acuerdo con el cronograma. Como ejemplo se presenta la guía de lectura de los capítulos asignados del libro *Pensar al revés*, de Benjamin Coriat, en la Figura 6.

3.6.3. Prácticas supervisadas.

Es la manera de representar prácticamente, en una situación hipotética, los conceptos vistos en clase con el fin de que los estudiantes refuercen los conocimientos teóricos. Esta estrategia se utiliza especialmente para la enseñanza de las técnicas de Lean Manufacturing, dado que permite que el estudiante tenga una

experiencia práctica en la aplicación de los conceptos aprendidos teóricamente. A raíz de esta experiencia se pretende que el estudiante haga un análisis de la situación, la traduzca en lo que se vive en el día a día en su trabajo, saque conclusiones de cómo podría aplicar cada uno de estos conceptos y vea cómo estas técnicas se relacionan entre sí aportando cada una de estas a la aplicación de las otras.

Para esta estrategia se diseñaron ocho prácticas que se encuentran explicadas en las fichas de práctica diseñadas. En la Figura 7 se puede observar un ejemplo de estas fichas de práctica. En estas prácticas se

Guía de Lectura del texto “Pensar al revés” de Benjamín Coriat

Capítulo 1 “El Espíritu Toyota” páginas 19-38

Capítulo 4: “Subcontratismo y Rentas Relacionales” páginas 98-123

Reglas de Juego

Este trabajo tendrá una longitud máxima de 3 páginas.

Sean muy precisos con el espacio y rigurosos con la fuente. No se aceptará copia del material si no está debidamente encomillado. El interés de los profesores es que hagan una buena lectura del material y sepan interpretar correctamente las ideas presentadas por el autor.

Preguntas

1. ¿En qué consiste el espíritu Toyota?
2. Describa, con sus propias palabras, las diferencias fundamentales entre el taylorismo y el ohnismo
3. ¿Por qué es importante conocer la historia del espíritu Toyota?
4. En cien palabras, escriba las ideas principales sobre las rasgos de las relaciones de subcontratismo que expone el autor.

Figura 6: Guía de lectura para el material de Benjamín Coriat.

utilizan recursos como juegos de rompecabezas y armatodo, entre otros. Estas prácticas permitirán que el estudiante interactúe con sus demás compañeros, para conseguir buenos resultados y mostrar cómo el trabajo en equipo es un factor importante en la implementación de las técnicas de Lean.

Adicionalmente, estas prácticas hacen posible mostrar fácilmente el contraste entre la situación antes de aplicar las técnicas y después de aplicarlas, haciendo tangibles la eliminación de desperdicios como ahorro de tiempo, mano de obra, material e

inventario. Esto último es importante ya que teóricamente es difícil mostrar el impacto de la aplicación de estas técnicas en los resultados.

3.6.4. Ejercicios en clase.

Esta estrategia se basa en el trabajo individual de los estudiantes en donde ellos deberán aplicar los principios y técnicas aprendidos durante el curso, con el fin de afianzar el aprendizaje y desarrollar alguna habilidad específica.

En el curso, estos ejercicios en clase están orientados a aprender a calcular algunas variables importantes

JUEGO DE LOS FÓSFOROS

Práctica supervisada

Tema: Desperdicios

Objetivo: Mostrar la influencia que tiene la variabilidad y la dependencia en un sistema.

Materiales:

- 2 dados
- 4 cajas de fósforos

Procedimiento:

1. Se conforman dos grupos de 10 personas
2. Un integrante de cada grupo tira el dado 100 veces y deben sacar el promedio de los tiros. En teoría el promedio debe dar 3.5.
3. Se reta a los equipos producir más de 36 fósforos al finalizar las 10 rondas.
4. En cada grupo se organizan 10 estaciones.
5. La primera estación tira el dado y debe coger la cantidad de fósforos que le indique el dado.
6. De la segunda estación en adelante deben tirar el dado y coger de la estación anterior la cantidad de fósforos que le indique el dado. Si el número que le indica el dado es mayor que el inventario que tiene la estación anterior SOLO podrá coger máximo la cantidad de fósforos que tenga en inventario la estación anterior.
7. Se deben hacer 10 rondas del paso 4 y 5.
8. Al finalizar las 10 rondas cada equipo debe decir la cantidad de fósforos que produjeron a través del proceso de producción.
9. Cada equipo debe sacar las conclusiones de la actividad y discutir las con todos los compañeros.

Preguntas:

1. ¿Cuáles cree que fueron los principales factores que influyeron en el resultado final?
2. ¿Qué tipo de desperdicios se pueden observar en la actividad?
3. ¿Cómo se pueden traducir estos factores y desperdicios detectados en el funcionamiento normal de una empresa?
4. ¿Cómo cree que se podrían controlar los factores detectados en el punto 1?
5. ¿Qué considera que se debe tener en cuenta al hacer la planeación de la producción después de esta actividad?

Zona para el instructor:

1. Explicar antes de iniciar la práctica la forma en que deben organizarse los grupos, repartir el material y alistarlos.
2. Dirigir la reflexión o discusión sobre la práctica.

Figura 7: Ficha de práctica para el juego de los fósforos

que se ven favorecidas después de la aplicación de alguna técnica, como por ejemplo el tiempo de ciclo, número de operarios en una celda, distribución de la planta según las

celdas, takt – time, etc. Como ejemplo se presenta un ejercicio relacionado con el cálculo de la capacidad de una celda de producción (Figura 8a-8b).

SuperLean Limitada fabrica su producto principal (SuperBroche) en una celda de 6 estaciones de trabajo. La imagen de dicha celda se presenta en la Figura 1

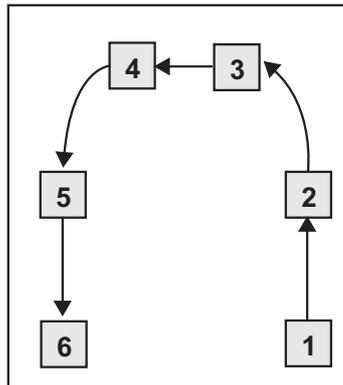


Figura 1. Celda de producción en SuperLean Limitada

La empresa trabaja diariamente de 7:00 a.m. a 3:00 p.m. Los empleados tienen un descanso de 9:00 a 9:15 a.m., almuerzan de 11:30 a.m. a 12:00 m y tienen otro descanso para café de 1:45 a 2:00 p.m.

Los tiempos de trabajo de máquinas y operarios para hacer un producto se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de máquinas y operarios en SuperLean Limitada.

Estación (tiempos en segundos)	Descarga	Carga	Ajuste	Procesamiento
1	10	7	10	37
2	10	9	7	27
3	12	4	10	20
4	8	5	6	22
5	15	8	8	28
6	6	10	9	32

La forma de trabajo es la siguiente: El operario llega a una máquina (que ya se ha detenido), descarga el producto que ha sido procesado en esa máquina y lo envía al siguiente destino, carga la siguiente unidad del producto, ajusta la máquina para hacer procesar el producto, y cuando el procesamiento inicia, el operario se desplaza hacia la siguiente estación de trabajo y deja la máquina corriendo con la unidad que acaba de cargar (es decir, el operario no se queda en una determinada estación de trabajo mientras ella procesa el producto). Al llegar a la siguiente estación de trabajo repite el mismo ciclo

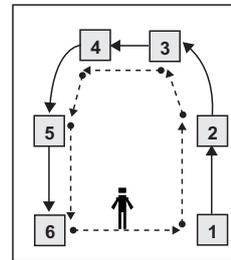
Figura 8a. Primera parte del ejercicio Super Lean.

Los tiempos necesarios para desplazarse de una máquina a otra se presentan en la Tabla 2.

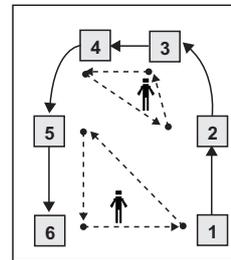
Tabla 2: Tiempos para desplazarse entre estaciones de trabajo.

Caminata entre estaciones (segundos)	1	2	3	4	5	6
1	–					
2	6	–				
3	11	5	–			
4	13	8	4	–		
5	9	5	8	5	–	
6	5	9	13	11	6	–

1. ¿Cuántas unidades al día puede producir esta celda de trabajo si es atendida por un operario?



2. ¿Cuántas unidades al día puede producir esta celda de trabajo si es atendida por dos operarios?



3. ¿Cuántas unidades al día puede producir esta celda de trabajo si es atendida por tres operarios?

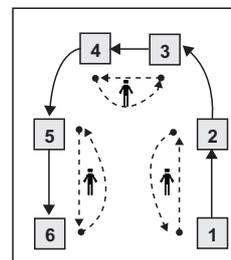


Figura 8b. Segunda parte del ejercicio Super Lean.

3.6.5. Diseño de Diagramas Sistémicos (circulares).

El objetivo de esta estrategia de aprendizaje es que los estudiantes retomen todos los conocimientos adquiridos hasta el momento en el curso, y a partir de esto construyan un diagrama circular que les permita reflexionar y profundizar sobre las relaciones que existen entre los componentes de las técnicas de Lean Manufacturing. Esta actividad se debe programar para efectuarse después de que se han visto todos los conceptos de las técnicas de Lean. Para esta estrategia se realizó una prueba piloto con los estudiantes de la electiva profesional Lean Manufacturing para pregrado, quienes desarrollaron la actividad según las indicaciones de los instructores.

A partir de esto se detectó confusión por parte de los estudiantes al comienzo de la actividad debido a que no tenían claridad sobre la teoría y diseño de los Diagramas Circulares. Por esto se incluyó en el curso una lectura previa sobre el tema. Adicionalmente se concluyó que era de vital importancia el uso de marcadores de diferentes colores para mostrar las relaciones entre los componentes de cada técnica (círculos de segundo nivel y superiores). Los componentes de cada técnica y las relaciones que ejercen sobre otra se deben trazar con el mismo color para que posteriormente se pueda evaluar la influencia potencial que ejerce cada una de las técnicas sobre las otras, dependiendo de la cantidad de líneas de un color que le hayan llegado a esa técnica. El resultado de la prueba piloto se muestra en la Figura 9.

3.6.6. Diseño de Diagramas Sistémicos (causales).

Esta estrategia de aprendizaje tiene como objetivo, al igual que la de diseño de diagramas circulares, retomar los conceptos vistos en clase, para que los estudiantes entiendan la relación sistémica que hay entre las diferentes técnicas de Lean Manufacturing, y cómo la implementación de cada una de estas contribuye a la aplicación de otra de éstas con el fin de obtener un resultado global en la compañía. La guía de aprendizaje de esta práctica se presenta en la Figura 10. Para la elaboración del diagrama sistémico que se muestra en la Figura 11 el cual servirá de guía para el curso, fue necesario ejecutar versiones previas, que se fueron enriqueciendo con la revisión del tutor y el análisis exhaustivo de cada una de las técnicas de Lean Manufacturing. El objetivo es que en el curso los estudiantes (a través de prácticas personales y discusiones en grupo) lleguen a construir un diagrama análogo al presentado en la Figura 9, y, más importante aún, a entender las implicaciones sistémicas de integrar todos los conceptos de Lean Manufacturing para comprender y planear las intervenciones en el sistema.

3.7. Desarrollo de Estrategias de Evaluación

Las actividades están enfocadas en el saber hacer siguiendo la filosofía de la universidad y el objetivo del curso, de formar al estudiante para utilizar los contenidos aprendidos en la solución de situaciones problemáticas, establecer relaciones entre los datos, formular conclusiones y en la prevención de nuevos problemas.

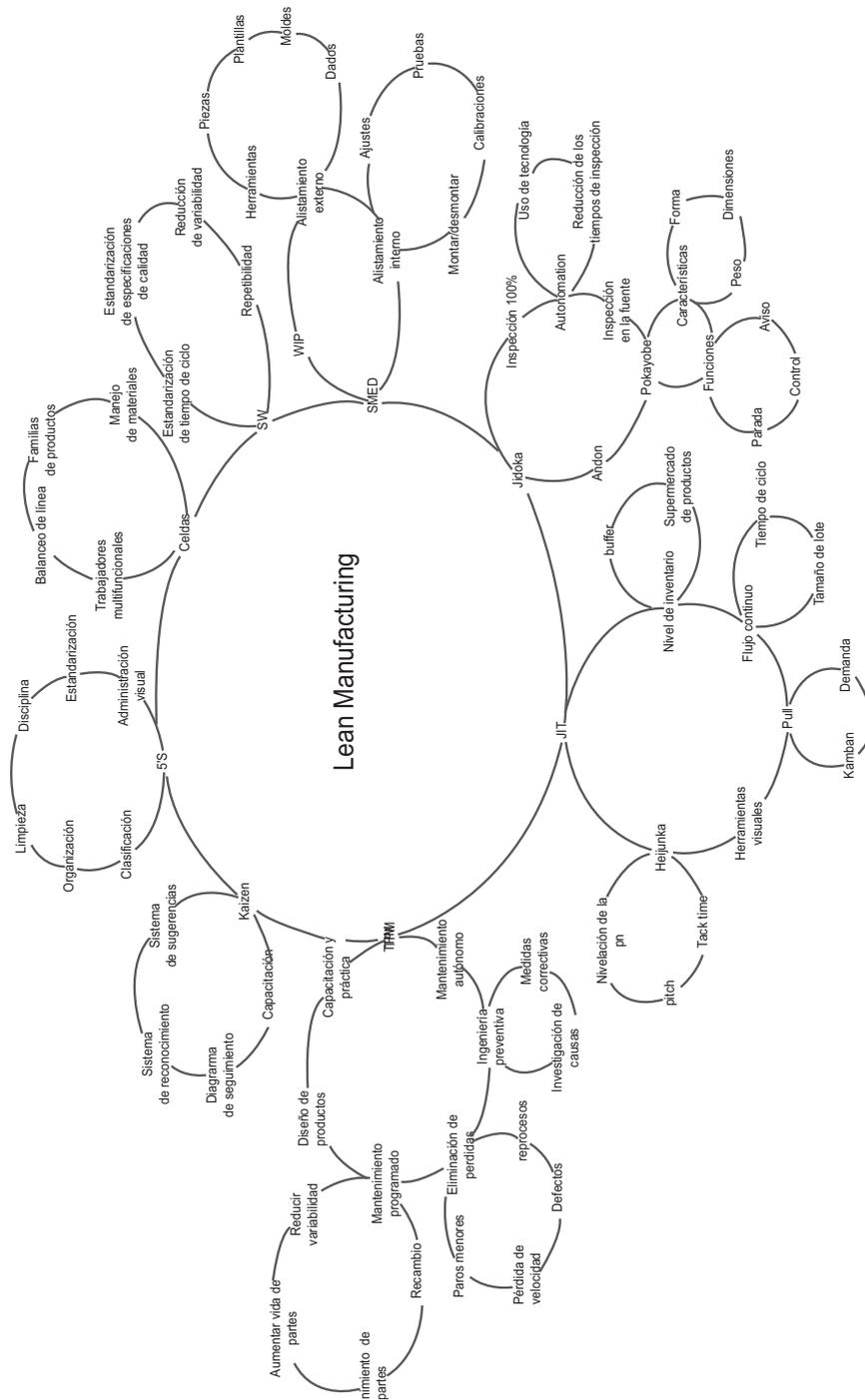


Figura 9: Diagrama circular de conceptos de Lean Manufacturing.

Construcción Diagrama Causa

Tema: Relaciones Técnicas – Variables

Preparación previa:

Conocimiento sobre la construcción de diagramas causal

Técnicas de Lean Manufacturing vistas.

Actividad de construcción de diagrama circular realizada.

Objetivo: Construir un diagrama causal que represente las principales relaciones entre las técnicas de Lean Manufacturing

Materiales y equipos:

Diagrama circular realizado en clase

Hojas examen para cada alumno

Procedimiento:

1. Contar cuántas líneas de cada color (color que a la vez corresponde a una técnica) llegan a los elementos de cada técnica.
El resultado será cuántas líneas hay entre cada una de las técnicas.
2. Con esta información como un punto de referencia, cada estudiante construye un diagrama causal que incluya las técnicas de Lean Manufacturing, las principales relaciones y las variables que el estudiante considere más representativas.
3. Cada estudiante debe escribir una breve sustentación de su diagrama donde explique cuál es la influencia que ejerce una técnica sobre las otras o sobre las variables internas y externas que incluyó. Debe decir la importancia que tiene tener en cuenta estas relaciones a la hora de elaborar un plan de implementación y por qué.
4. Si el tiempo de clase no alcanza, el profesor fijará una fecha para la entrega.

Zona para el instructor:

1. Explicar la actividad y su dinámica antes de empezar.
2. Dirigir la reflexión o discusión sobre la práctica.

Recomendaciones

Como es una actividad bastante extensa es probable que el tiempo de clase no alcance para terminar la actividad, por lo que es bueno dejar dos sesiones y pedirles a los estudiantes que adelanten trabajo entre las sesiones.

Figura 10: Guía de aprendizaje para la construcción de diagramas causales

- *Solución de casos:* Los estudiantes analizan un caso y aplican su conocimiento identificando los conceptos aprendidos y proponiendo posibles soluciones.
- *Debate en clase:* El estudiante discute los conocimientos aprendidos en relación con un nuevo escenario de aplicación y propone nuevas alternativas basadas en su criterio y experiencia laboral.

- *Construcción de diagrama circular:* En la construcción del diagrama circular, los estudiantes trabajan en equipo para diagramar la estructura de Lean Manufacturing y los componentes claves de cada herramienta. De esta manera se refuerza el proceso de aprendizaje y se recopila el contenido del curso. El profesor evalúa los conocimientos adquiridos y la capacidad de análisis-síntesis para escoger los elementos claves en el diagrama. Finalmente, el proceso de conexión de los elementos muestra si los estudiantes han comprendido la forma en que estos se aplican e interactúan.
- *Construcción de diagrama causal:* La construcción del diagrama causal evalúa la capacidad de los estudiantes para analizar escenarios sistémicamente. Este análisis es el fundamento para la realización de un plan de acción efectivo que considere el impacto de las diferentes decisiones que puedan tomarse.
- *Proyecto final:* Con el proyecto final se busca que el estudiante aplique los conocimientos y habilidades aprendidos durante el curso en la realización de un plan de implementación de Lean Manufacturing a su puesto de trabajo. Además requiere la planeación de su presentación y comunicación en la organización. No solo es un excelente instrumento de evaluación del que se obtiene un producto “tangible”, sino que el estudiante tiene la posibilidad de seguir perfeccionando las habilidades aprendidas pues cuenta con la posibilidad de consultar con el profesor las dudas

o situaciones que se presentan durante el proceso.

4. CONCLUSIONES - APRENDIZAJES

4.1. Relaciones sistémicas entre las variables de Lean Manufacturing

Con base en el ejercicio realizado para la elaboración de la Figura 11 (Diagrama Causal que relaciona las variables principales de Lean Manufacturing), se encontraron los siguientes puntos principales:

La implementación de las herramientas de LM implica un involucramiento del personal para que participe y gestione el proceso de mejoramiento continuo. Esto se muestra en la influencia que tiene el ciclo formado por la motivación y las técnicas 5S y Kaizen sobre las demás técnicas y variables del diagrama. Este ciclo se ha llamado “ciclo supervirtuoso” debido a que sus componentes se influyen en ambas direcciones y crean un comportamiento reforzador que amplifica su efecto.

Las variables contenidas en este modelo se pueden clasificar en tres subgrupos, las técnicas de Lean Manufacturing (en mayúscula), resultados internos (producción flexible, confiabilidad, por ejemplo) y resultados externos (ingresos, ventas perdidas, nivel de servicio).

- 5S es una de las técnicas que ejerce más influencia sobre los otros componentes de Lean Manufacturing, gracias a que ésta prepara el escenario para que las otras técnicas se puedan implementar. Permite el fácil acceso a las herramientas, las piezas y material

necesarios para cada tarea, les asigna una posición fija y garantiza que estén en las condiciones adecuadas, lo que hace más fácil la estandarización del proceso ya que el operario tiene lo que necesita en el lugar preciso de su celda y en condiciones adecuadas para realizar un trabajo consistente y repetible. De esta manera parte de las operaciones externas de la técnica SMED ya se encuentra realizada, reduciendo el tiempo de alistamiento. Así mismo permite que el mantenimiento hecho por los operarios a las máquinas y a su lugar de trabajo sea disciplinado, eficiente y oportuno.

Al tener organizado y limpio el sitio de trabajo, ambiente creado por 5'S, es más fácil para el operario detectar las fallas en la maquinaria tales como desperdicio inusual, partes sueltas, fugas de lubricante o líquidos y contribuye a la práctica de TPM cuyo objetivo es aumentar la confiabilidad de las máquinas, hacer que estas permanezcan en funcionamiento el mayor tiempo posible y en condiciones adecuadas, lograr resultados efectivos al crear una disciplina de mantenimiento preventivo y autónomo como parte de la rutina de producción, lo cual reduce las posibles causas de error y mejora la calidad.

- *Celdas/Jidoka*: Los operarios conocen a fondo todo el proceso, las operaciones y requerimientos de calidad de su celda e identifican errores más cerca de la fuente. Ellos tienen la responsabilidad de parar la celda si se detecta algún error. El sistema por cel-

das permite que al detectarse un error sólo se detenga el trabajo en la celda donde se encuentra, sin interrumpir la producción de toda la planta.

- *Trabajo estándar/Jidoka*: Reduce la variabilidad en la producción y permite el establecimiento de requerimientos o exigencias de calidad. Además jidoka aporta a la estandarización del proceso porque al detectarse un error, la medida de mejora se debe incorporar a los estándares para adecuar el proceso continuamente.
- *SMED/Tamaño de lote*: Al reducir los tiempos de alistamiento al mínimo se pueden producir tamaños de lote más pequeños procurando que el cambio en el lote producido genere el menor impacto posible en el tiempo de producción.

Cuando se ha logrado reducir los tiempos de alistamiento, estandarizar el trabajo y garantizar la confiabilidad de la maquinaria se obtiene como resultado el sistema de producción flexible que permite planear la producción de acuerdo con las necesidades de la demanda, reducir los tamaños de lotes y hacer que la producción fluya continuamente reduciéndose los niveles de inventario, lo cual impacta positivamente en los costos de producción.

- *Jidoka* construye un sistema con herramientas tecnológicas y humanas que tiene como objetivo prevenir los errores de producción lo más cerca posible a su fuente. La inspección incorporada en el proceso de producción hace que los correctivos sean más rápidos,

efectivos y económicos, porque no se desperdicia tiempo y materiales en unidades defectuosas. Esto permite que los productos terminados tengan calidad garantizada al 100%, con una menor inversión en tiempo de inspección y capital.

La combinación de todas las herramientas mencionadas facilita que la empresa adopte una política de producción Justo a tiempo donde la producción se maneja con un sistema "Pull". De esta manera se produce de acuerdo con la demanda y en las cantidades y tiempos que ésta requiere.

El sistema PULL hace más visibles los problemas de calidad porque no hay inventario con el cual cubrir fallas. Esto genera una presión en el equipo para mejorar todo el proceso, así como medidas de contingencia para restablecer el flujo continuo.

Las relaciones planteadas significan que la buena aplicación de las técnicas facilita la implementación y mejora los resultados de otras. Sin embargo no se pretende afirmar que el ciclo funciona solo y desencadena resultados por sí mismo. Aunque este ciclo se retroalimenta cuando el proceso es manejado correctamente, tiene restricciones y no es una bola de nieve que crece y mejora procesos indefinidamente. Algunas de estas restricciones que balancean el ciclo son las barreras de tipo externo (el proveedor a corto plazo solo se puede comprometer con cierta frecuencia mínima de despacho), limitaciones técnicas (el tamaño de lote no se puede reducir indefinidamente por los costos de manejo de material y porque el más mínimo imprevisto causaría

una interrupción en la producción), falta de apoyo de la gerencia.

La comprensión sistémica descrita en este documento permite tomar decisiones y planear procesos a largo plazo teniendo en cuenta las implicaciones de estas decisiones a cualquiera de los tres niveles (técnicas, resultados internos y externos).

Para concluir se observa cómo todos los componentes del diagrama confluyen en las utilidades, el cual es el indicador gerencial más importante para una compañía. Estas se ven influenciadas por los costos de producto, los costos operativos e ingresos. Los costos de producto disminuyen cuando se reduce la cantidad de producto defectuoso y el desperdicio de material. Al disminuir el nivel de inventario tanto de materiales como de producto en proceso y producto terminado se reducen los costos operativos y el capital invertido. Finalmente, al aumentar el nivel de servicio se fortalece la fidelidad con los clientes y se puede atraer más, lo que significa un aumento en los ingresos que impacta positivamente las utilidades.

4.2. Guía del docente para el curso de Lean Manufacturing

Como resumen de toda la información presentada, se generó la guía del Docente para facilitar el uso de todo el material preparado. Es interesante notar que en el proceso de desarrollo del curso se observó una excelente correspondencia de Lean Manufacturing con Pensamiento Sistémico como herramienta para facilitar la comprensión del sistema de manufactura, las variables y sus relaciones. La guía resumen para el docente se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Guía para el docente

Unidad	Temas	Actividades durante la sesión	Material	Sesión
1	Principios de la filosofía Lean Manufacturing.	Discusiones en clase.	Ficha 1. Guía de lectura "Pensar al revés "	1
	Flexibilidad en la producción y sistema Pull	Uso de ejemplos reales donde se muestre la aplicación del tema propuesto.	Casos exitosos en otras empresas: <ul style="list-style-type: none"> • Países • Industrias • Empresas Blog Lean Sistémico.	
	El desperdicio	Analizar un caso e identificar las principales causas de desperdicio.	Competitive Manufacturing Management Case in point: agility at prince castle pag. 96 Case in point: Toyota production system – Lean Production and JIT prototype pag. 13	2
		Juego de los fósforos.	Ficha 2. Práctica supervisada Juego de los fósforos.	
2	Value Stream Mapping	Discusiones en clase. Uso de ejemplos reales donde se muestre la aplicación del tema propuesto		3
		Caso de estudio: basados en un caso los estudiantes aplicarán lo aprendido en la construcción del VSM. Analizarán el diagrama, concluyendo sobre desperdicios y oportunidades de mejora.	Ficha 10. Análisis de caso VSM	
	5's	Discusiones en clase Uso de ejemplos reales donde se muestre la aplicación del tema propuesto.		4
		Práctica supervisada. Juego de rompecabezas.	Ficha 3. Práctica supervisada 5's.	
Kaizen	Realizar propuestas sobre sistemas de participación y reconocimiento que promuevan el trabajo en equipo y la generación de ideas.	Ficha 15. Análisis del puesto de trabajo Kaizen.		
Sistemas de trabajo flexible (Celdas)	Trabajo estandarizado	Diseño de celdas siguiendo el procedimiento algorítmico. Cálculo de tiempos de ciclo, número de trabajadores y capacidad de la celda. Realizar cálculos de Takt time y Pitch.	Ficha 4. Práctica supervisada celdas. Ficha 11. Ejercicio en clase, balanceo de la celda. Ficha 12. Ejercicio en clase Distribución de planta basada en celdas.	5
		Práctica supervisada Discusiones en clase	Ficha 5. Trabajo estándar.	6
	Jidoka	Discusiones en clase		
	SMED	Discusiones en clase Práctica supervisada SMED.	Ficha 7. Práctica supervisada SMED.	7

Unidad	Temas	Actividades durante la sesión	Material	Sesión
	TPM	Discusiones en clase Práctica supervisada TPM	Ficha 6. Práctica supervisada TPM.	8
	Justo a tiempo	Discusiones en clase Práctica supervisada Kanbans	Ficha 8. Práctica supervisada Kanbans.	9
	Heijunka	Discusiones en clase Práctica supervisada Heijunka	Ficha 9. Práctica supervisada Heijunka.	
3	Implementación de Lean Manufacturing	Discusión en clase Caso de estudio Reflexión y elaboración de diagramas con las relaciones entre el tema de clase y los temas vistos anteriormente.	Caso NOK-freudenberg entrevista CEO blog leansistémico. Diagramas realizados por los estudiantes después de cada clase.	10
4	Relaciones sistémicas de Lean Manufacturing I	Construcción de ejemplos: construcción en clase de diagramas circulares modelo. Los estudiantes realizarán en clase un diagrama circular que contenga las técnicas de Lean Manufacturing, sus componentes y relaciones. Análisis de los resultados obtenidos y de la utilidad del pensamiento sistémico.	Figura 36. Diagrama circular Lean Manufacturing. Ficha 13. Construcción de diagrama circular.	11
	Relaciones sistémicas de Lean Manufacturing II	Con base en el diagrama circular desarrollado en clase, donde se muestran las conexiones entre los componentes de las herramientas se definen las principales relaciones entre las herramientas. Adicionalmente se analizan las relaciones de estas con las principales variables de resultados, tanto internas como externas a la organización. Análisis de los resultados obtenidos y su importancia en un plan de implementación.	Ficha 14. Construcción de diagrama causal. Figura 38. Diagrama causal Lean Manufacturing (autores). Diagrama causal interactivo.	12
Proyecto final		Proyecto final: el estudiante aplica los conocimientos adquiridos durante el curso y su actividad analítica, en un caso real. Presentación del proyecto final.	Ficha 16. Proyecto final.	13

4.3. Investigación futura

Con base en el aprendizaje logrado parece promisorio desarrollar un modelo de intervención en empresas para implementar Lean Manufacturing aplicando las herramientas y conceptos del Pensamiento Sistémico.

También aparece la oportunidad para el desarrollo de currículos de cursos con más profundidad. Está planeada la preparación de un curso de investigación para la Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. Sería interesante explorar las posibilidades que la aplicación más

profunda de Pensamiento Sistémico en Lean Manufacturing abre para una comprensión más detallada de técnicas específicas de Lean Manufacturing, para solución de situaciones problemáticas en las empresas y para la generación de materiales educativos para capacitación de operarios, proveedores y otros grupos de personas relacionados con el trabajo de las empresas.

Finalmente, resulta atractivo explorar la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas para el estudio de implementaciones Lean en empresas. Estos modelos presentarían relaciones cuantificadas entre las diferentes variables, para explorar los comportamientos del sistema con bases cuantitativas. La construcción de esos modelos permitiría simular los comportamientos de las implementaciones y facilitaría la previsión de los resultados de cambios que afecten las variables del sistema.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Bahamón, J.H. (2007). *Un modelo para el diseño curricular de las asignaturas de la Universidad (Icesi): Alineación constructiva entre objetivos, contenidos de aprendizaje, estrategias didácticas y evaluación*. [Documento electrónico] Universidad Icesi, Cali; Colombia. Producido por José Hernando Bahamón.
- Coriat, B. (1996). *Pensar al revés: Trabajo y organización en la empresa japonesa*. Siglo Veintiuno Editores, México D.F.
- González, J.H. (2003). *El Proyecto Educativo de la Universidad Icesi y el aprendizaje activo*. 6 ed. Publicaciones del Crea, Universidad Icesi, Cali, Colombia.
- Hay, E. J. (1989). *Justo a Tiempo*. Editorial Norma, Cali, Colombia.
- Ishikawa, K. (1991). *¿Qué es el control total de calidad?* Editorial Norma, Cali, Colombia.
- Lean to the Bone: Dell Computers*. Made in Europe Magazine. Consultado de la página web http://newsweaver.ie/madeineurope/e_article000324760.cfm?x=b11,0,w (23 de Octubre de 2008).
- Levinson, W. (2002). *Henry Ford's Lean Vision: Enduring Principles from the First Ford Motor Plant*. Productivity Press, Portland, OR.
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time*. Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.
- Nicholas, J. (1998). *Competitive Manufacturing Management. Continuous improvement, Lean Production, and Customer-Focused Quality*. Irwin McGraw-Hill, Boston.
- O'Connor, J. y McDermott, I. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistémico: Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas*. Ediciones Urano S.A., Barcelona.
- Ohno, T., (1988), *Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR.
- Pratt & Whitney plays the ACE of Lean*. Lean Directions (the Lean Manufacturing e-newsletter). URL: <http://www.sme.org/cgi-bin/getnewsletter>.

pl?LEAN&20060907&1& (consultado el 23 de Octubre de 2008).

Rivera, L. (2008). *Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing*. Heurística, Revista de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Shingo, S., (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, Portland, OR.

Shingo, S., (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*, Productivity Press, Portland, OR.

Villaseñor, A. y Galindo, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica*. Limusa, México.

Villaseñor, A. y Galindo, E. (2007). *Conceptos y Reglas de Lean Manufacturing. Guía Básica*. Limusa, México.

Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., (1990), *The Machine that Changed the World*, Macmillan, New York, NY.

Currículos

Johan Armando Dinas Garay se graduará con honores Magna Cum Laude como Ingeniero Industrial de la Universidad Icesi en febrero de 2010. Realizó su práctica empresarial en Tecno-

químicas, donde actualmente se desempeña como Analista de Mercadeo Internacional.

Paula Franco Caicedo se graduará con honores Cum Laude como Ingeniera Industrial de la Universidad Icesi en febrero de 2010. Realizó su práctica empresarial en Colgate Palmolive donde actualmente se desempeña como Asistente de Mercadeo en el área de Medios.

Leonardo Rivera Cadavid es Ingeniero Industrial de la Universidad del Valle (1994), Master of Science in Industrial Engineering de Georgia Institute of Technology (1996) y Ph.D in Industrial and Systems Engineering de Virginia Polytechnic Institute and State University (2006). Ha trabajado en la Universidad Icesi (1993-1995), en el Centro de Productividad del Pacífico (ahora Centro Nacional de Productividad; 1997-1198) y en la Universidad Icesi desde 1998 hasta la fecha. Es autor de seis artículos publicados en revistas nacionales e internacionales, un capítulo en un libro de investigación y ha presentado once ponencias en conferencias nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial en la Universidad Icesi. ☼