

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO DE
LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING

JUAN FELIPE BOTERO LORZA
SEBASTIÁN NARANJO OCHOA

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO DE
LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING

JUAN FELIPE BOTERO LORZA
SEBASTIÁN NARANJO OCHOA

Informe final de proyecto de grado

Leonardo Rivera Cadavid
Director del proyecto
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

CONTENIDO

	PÁG.
1. LEAN MANUFACTURING	1
1.1 TÍTULO DEL PROYECTO	1
1.2 PROBLEMA	1
1.2.1 Planteamiento del problema	1
1.2.2 Análisis	1
1.3 ALCANCE Y DELIMITACIONES	1
1.4 DURACIÓN DEL PROYECTO	2
1.5 TIPO PROYECTO	2
1.6 IMPACTO	3
1.6.1 Social	3
1.6.2 Económico	3
1.6.3 Académico	4
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO	5
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. MARCO DE REFERENCIA	6
3.1 ANTECEDENTES	6
3.2 MARCO TEÓRICO	6
3.2.1 Definición de herramientas Lean	6
3.2.1.1 Value Stream Mapping	7
3.2.1.2 5'S	7
3.2.1.3 Celdas de manufactura	7
3.2.1.4 Jidoka	7
3.2.1.5 SMED	8
3.2.1.6 Control visual	8
3.2.1.7 Trabajo estándar	8
3.2.1.8 Kaizen	8
3.2.1.9 Just in time (JIT)	8
3.2.1.10 Heijunka	9
3.2.1.11 TPM	9
3.2.1.12 Poka-Yoke	9
3.2.2 Evaluación económica de las herramientas de Lean Manufacturing	9
3.2.3 Caracterización de las herramientas de Lean	11

3.2.4 Herramientas de evaluación económica	14
3.3 APOORTE INTELLECTUAL DEL INVESTIGADOR	15
3.4 METODOLOGÍA.....	16
ETAPAS DEL TRABAJO	16
Tabla 1 Utilización de Metodologías en el proyecto.....	16
3.5 MARCO LÓGICO	18
4. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	24
4.3.1 Recursos.....	24
4.3.1.1 Recursos Financieros.....	24
4.3.1.2 Recursos Físicos.....	24
4.3.1.3 Recursos Humanos.....	24
4.3.2 Cronograma.....	25
5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	27
5.1 VARIABLES DE PRODUCCIÓN	27
5.1.1 Tiempo	27
5.1.2 Distancia	32
5.1.3 Espacio Físico de planta y bodega	33
5.1.4 Flujo del proceso.....	34
5.1.5 Parámetros o restricciones.....	39
5.1.6 Indicadores de proceso.....	39
5.1.7 Costos de producción.....	40
5.2 PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING.....	43
5.2.1 Kaizen	43
5.2.2 Proyecto de implementación de SMED.....	44
5.2.3 Proyecto de implementación de 5´S.....	45
5.2.4 Proyecto de implementación Celdas de Manufactura	46
5.2.5 Proyecto de implementación JIT	47
5.2.6 Proyecto de implementación Jidoka.....	48
5.2.7 Proyecto de implementación de Trabajo Estándar.....	48
5.2.8 Proyecto de implementación Heijunka	49
5.2.9 Proyecto de implementación TPM	49
5.2.10 Proyecto de implementación Poka-Joke	50
5.2.11 Proyecto Balanceo de Línea	50
5.2.12 Proyecto de implementación de Control Visual.....	51
5.3 MODELO PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN LEAN	52
5.3.1 Inversión en activos.....	52
5.3.2 Personal.....	52
5.3.3 Gastos de implementación.....	53
5.3.4 Análisis de costos	53

5.3.5 Presupuesto de reducciones	53
5.3.6 Estado de resultados.....	54
5.3.7 Flujo de caja	54
5.3.8 Flujo de caja neto	54
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO 1	58
ANEXO 2	59
ANEXO 3	60
ANEXO 4	61
ANEXO 5	62
ANEXO 6	63
ANEXO 7	64
ANEXO 8	65

1. LEAN MANUFACTURING

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING”.

1.2 PROBLEMA

1.2.1 Planteamiento del problema

No existen herramientas estandarizadas que permitan evaluar el impacto económico de las herramientas de Lean. Es necesario dar a conocer, no de manera teórica estas herramientas, sino a partir de un modelo sistémico que permita mostrar la relación costo – beneficio y la viabilidad económica que puede generar la implementación de las distintas herramientas de Lean Manufacturing, para así lograr cambios beneficiosos dentro de la organización.

1.2.2 Análisis

Debido al entorno tan cambiante que se tiene en la actualidad, y a la alta competencia que existe en el mercado, las empresas están continuamente buscando la forma de ser más competitivos por medio del aumento de la productividad, la eficiencia y la eficacia en sus procesos para así lograr una reducción de los costos en los productos. Para lograr implementar las mejoras propuestas en las diferentes áreas se requiere invertir tiempo y recursos. Además se debe contar con el apoyo de la alta gerencia debido a que ellos son los que manejan los recursos económicos de la compañía.

1.3 ALCANCE Y DELIMITACIONES

Con este proyecto de investigación se quiere crear una herramienta que le permita a una organización estimar el impacto de la inversión económica cuando se hacen cambios en el sistema de manufactura convencional para implementar las

filosofías propuestas por Lean, así como conocer las mejoras en los procesos de manufactura.

El proyecto no se enfocará en una industria o sector específico, debido a que esto sesgaría los parámetros de entrada necesarios para poder moldear y adaptar esta herramienta a cualquier sector, lo cual sería una contradicción al decir que se quiere crear una herramienta aplicable a cualquier organización que manufacture productos discretos. Para esto se decidió que el análisis será una descripción de cada una de las variables más relevantes que afectan las herramientas de lean, lo cual permitirá dar a conocer a los usuarios del modelo qué es necesario para implementar una herramienta de Lean.

Es posible crear esta herramienta sin delimitar específicamente un sector industrial debido a que los requerimientos para la aplicación de herramientas lean se pueden dar de forma general y son perfectamente moldeables según las necesidades y requerimientos de una organización en específico. Sin embargo dado que lean nace en ambientes de manufactura de productos discretos, será en este ámbito donde la herramienta que salga de este proyecto será utilizada.

Lo más importante será definir claramente en qué consiste y de qué requiere la implementación de cada una de las herramientas lean, para que por medio de este modelo se puedan conocer los costos en que se incurre cuando se implementa la filosofía Lean.

1.4 DURACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto será llevado a cabo en un periodo de dos semestres regulares académicos, iniciando en el primer semestre del 2011 y presentando los resultados finales al final del segundo semestre del 2011.

1.5 TIPO PROYECTO

Este es un proyecto de tipo exploratorio, ya que permitirá reconocer el impacto económico generado por la transformación del sistema de manufactura convencional al sistema manufacturero creado por la Toyota.

1.6 IMPACTO

1.6.1 Social

El cambio dirigido hacia herramientas Lean requiere de un cambio profundo en la cultura de todos los involucrados en el sistema de manufactura. Lean puede describirse como el ejercicio de hacer actividades de forma organizada, simple y estandarizada.

Aplicar herramientas implica una formalización de las actividades cotidianas en las organizaciones, lo que ayuda a la formalización de las industrias. Dado este hecho se supone que la aplicación de estas herramientas implica un mejoramiento en el sector industrial y en las fuentes de empleo serio, con lo que se obtienen crecimientos económicos y educativos que fomentan el avance social e industrial de la región.

Lean es una de cómo se deben hacer las cosas con disciplina y autocontrol. Basa sus cimientos en el conocimiento profundo de la organización con el objetivo de controlar y mejorar cada proceso. Hay que recordar que son las organizaciones asentadas en cada región las que propenden por el crecimiento social y económico.

1.6.2 Económico

El aspecto económico será el lenguaje utilizado por este proyecto para demostrar la viabilidad del cambio hacia sistemas Lean. La idea se basa en mostrar, a través de un lenguaje económico, cómo la implementación de herramientas Lean genera ahorros significativos para una organización.

Los ahorros se dan principalmente en los aspectos a los cuales Lean trata directamente. Se demostrará que la implementación de la filosofía Lean genera una disminución en las *mudas* (nombre dado a los desperdicios en Lean), las cuales son el desperdicio generado a lo largo de la cadena productiva.

Todo lo anterior es para una organización la diferencia entre recursos con un bajo aprovechamiento y recursos que cada vez son mejor utilizados. Con Lean manufacturing también se tienen grandes expectativas en el mejoramiento de la

calidad y los tiempos de entrega, así como en la disminución del Lead time y los tiempos de ciclo y alistamientos, lo que traducido en dinero significa ahorro.

Los índices de utilización de los recursos son generalmente insuficientes para comunicarse entre las diferentes áreas. El lenguaje monetario es usualmente más entendible para toda la organización, así que se transformará el significado de estos recursos a un lenguaje económico que sea fácilmente entendido por cada miembro de la organización.

1.6.3 Académico

Hasta la fecha no se ha creado en el Valle del Cauca un modelo que permita conocer el impacto económico generado en la transformación de sistemas productivos convencionales hacia sistemas Lean. Este sería el primer intento por crear una herramienta que permita su aplicación a cualquier organización enfocado en la manufactura de productos discretos.

Generalmente cuando se quiere comenzar un proceso de mejora continua, este desarrollo se da de manera muy personalizada y se dejan atrás todas aquellas variables comunes que conectan a los diferentes sectores industriales que permitirían crear modelos para la evaluación económica de estas mejoras.

El enfoque de este proyecto no será desde adentro de las organizaciones, se realizará a través del reconocimiento y descripción de las herramientas de Lean para que se pueda moldear a las necesidades individuales de las diferentes organizaciones. Para esto se tendrán en cuenta todas aquellas variables que conectan y describen de una misma forma a los diferentes sectores industriales.

Esto es posible porque la aplicación de herramientas de mejora tiene mucho más en común de lo que generalmente es tenido en cuenta. El desglosamiento de las diferentes herramientas de Lean será el camino trazado que nos llevará a la identificación de todas estas variables que conectan las necesidades comunes de las diferentes industrias para la implementación de modelos de mejora continua.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la difusión de Lean Manufacturing en la región.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Diseñar una herramienta que permita evaluar el impacto económico de la implementación de Lean Manufacturing.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar variables de producción que se ven afectadas por la implementación de Lean Manufacturing
- Identificar las relaciones entre las variables que afectan la producción y las mejoras propuestos por lean
- Construir modelos causales que capturen la relación entre las variables
- Integrar los modelos causales con una herramienta para evaluar económicamente proyectos de implementación Lean

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 ANTECEDENTES

Lean Manufacturing es un tema que se ha venido tratando cada vez con más frecuencia tanto a nivel mundial como nacional, como una herramienta muy efectiva al momento de querer introducir mejoras en el proceso productivo y lograr una mayor competitividad en el mercado. Las evidentes mejoras y beneficios que provee Lean a la industria, han hecho que cada vez más empresas decidan ajustar estas herramientas a su empresa. Se encontró en un estudio de benchmarking realizado en el sector de confección de la ciudad de Medellín, que cada vez más en Colombia se están implementando las distintas herramientas de Lean para lograr un mayor beneficio económico y productivo.

En este estudio se quería encontrar si la implementación de las distintas herramientas traía consigo un buen desempeño. Para esto se montaron gran cantidad de indicadores que evaluaran distintos sectores de la empresa para que así al implementar alguna herramienta se notara por medio de números un cambio en los distintos factores de producción. Mediante un análisis de los datos y el uso de la inferencia estadística, lograron encontrar que con un 99% de confianza a medida que se implementan las herramientas mejor será el desempeño que logre la empresa.

Más relacionado con el costeo de las herramientas Lean, encontramos un modelo que se desarrolló en Estados Unidos que permite determinar la mejor asignación de los operarios necesarios en una celda de manufactura, para lograr reducir el costo que está compuesto por el costo de capacitación del operario, el costo de mantener inventario y el costo de la mala calidad. El modelo determina donde debe ir cada trabajador dependiendo de su capacidad para manejar las distintas celdas durante un periodo de tiempo determinado.

3.2 MARCO TEÓRICO

3.2.1 Definición de herramientas Lean.

Lean manufacturing consiste en la aplicación de diferentes técnicas para lograr mejoras en el proceso productivo, procurando reducir los 7 desperdicios que se

encuentran en la industria. La reducción de estos factores que no agregan valor al producto hace que la empresa utilice mejor sus recursos y a su vez pueda cumplir con mayor facilidad sus metas logrando mayor productividad y competitividad. A continuación se presenta una pequeña contextualización de cada una de las herramientas que se trabajaran:

3.2.1.1 Value Stream Mapping

Es una fotografía sistémica del flujo del producto en el proceso. Describe el momento desde que se impone la orden hasta que se transforman los materiales dentro del proceso para así entregar una salida al cliente. Este mapa permite ver en donde se pueden realizar posibles mejoras identificando la ubicación de los desperdicios y tiene en cuenta las etapas donde no se agrega valor al producto.

3.2.1.2 5´S

La implementación de 5´S contribuye en crear una disciplina en las personas para manejar un orden y una limpieza de los recursos y espacios utilizados por la empresa para la correcta operación.

3.2.1.3 Celdas de manufactura

Es una técnica utilizada para crear nuevos flujos en la producción y lograr una mayor flexibilidad y velocidad en la creación de los artículos. En una celda se debe agrupar una familia de productos de los cuales todos tengan atributos parecidos para utilizar las mismas máquinas y tener el espacio y operarios dedicados a esta. Una celda de manufactura genera beneficios en la calidad del producto, reduce inventarios en procesos y puede aumentar el volumen de producción cuando se requiera.

3.2.1.4 Jidoka

Es una herramienta que garantiza una buena calidad del producto y del proceso, utilizando alarmas y sensores para prevenir los errores humanos o de las maquinas. Permite reducir la existencia de productos dañados para ser reprocesados o desechados y evita un mayor consumo de materiales q elevaría el

costo del producto. El principal objetivo es buscar una reducción en los errores y fallas.

3.2.1.5 SMED

Esta herramienta está enfocada a reducir los tiempos de alistamiento. El alistamiento son todas las actividades realizadas desde que sale la última unidad de la referencia anterior hasta que sale la primera buena de la nueva referencia. Las actividades se clasifican en internas que son las actividades que se deben hacer con la maquina apagada, y externas que no requieren apagar la máquina para realizarlas. Se deben identificar las actividades internas y externas para luego analizar si existe la posibilidad de externalizar algunas internas.

3.2.1.6 Control visual

Es un sistema de comunicación y control utilizado para lograr distinguir una situación normal de una anormal con mayor facilidad. Permite identificar rápidamente anomalías, brinda mayor eficiencia y se logra una estandarización.

3.2.1.7 Trabajo estándar

El mejoramiento continuo debe estar basado en una serie de actividades que han sido previamente medidas y documentadas con el fin de poder estandarizar cada una de los procesos que tiene el sistema de producción. El trabajo estándar disminuye el tiempo de capacitación de nuevos operadores, errores y permite mantener los logros obtenidos en el tiempo.

3.2.1.8 Kaizen

Es una filosofía de mejoramiento continuo que pretende generar ideas todo el tiempo por parte de los integrantes de la organización, con el objeto de ser cada día mejores que el anterior. Según la filosofía kaizen aplicada en Toyota no puede pasar un día sin que exista una mejora en los procesos.

3.2.1.9 Just in time (JIT)

Los recursos deben ser utilizados en el momento justo, la demanda jala la producción por lo que todo el sistema debe tener una capacidad de respuesta alta.

Esta herramienta consiste en flexibilizar la producción ajustándola a la demanda. El JIT pretende eliminar la acumulación de inventarios, recomendando producir en lotes pequeños, además disminuye materia prima, productos en proceso y producto terminado.

3.2.1.10 Heijunka

Consiste en suavizar la producción, mejorando el flujo y produciendo en lotes cada vez más pequeños. El ideal es producir y mover una pieza al tiempo, por lo que supone una restricción de uso en sistemas productivos que tengan una alta variabilidad en la demanda. Debe tenerse mucho cuidado con los procesos que no agregan valor que se incrementan en esta filosofía, un ejemplo es el movimiento debido a la reducción del tamaño de lote. Por esto la infraestructura debe ser pensada para que este tipo de procesos no desborden los costos.

3.2.1.11 TPM

Consiste en convertir las actividades de mantenimiento en actividades productivas. Cada operario debe aprender las operaciones necesarias de mantenimiento de su equipo. Esto con el fin de aumentar la confiabilidad de los equipos y la calidad de los productos. Si miramos el beneficio de TPM consiste en disminuir las paradas imprevistas y algunas actividades que no agregan valor como los reprocesos

3.2.1.12 Poka-Yoke

Consiste en evitar errores causados por la omisión de tareas o imposibilitar el error humano. Para esto se pueden utilizar dispositivos que ayuden al control de las actividades o bien crear un diseño entre los componentes que imposibilite incurrir en un error.

3.2.2 Evaluación económica de las herramientas de Lean Manufacturing

En este proyecto se definirán todas aquellas variables tangibles, presentes en cada una de las herramientas de Lean Manufacturing, que generan un costo de inversión para la empresa.

Ya previamente se ha definido en qué consiste cada una de las herramientas de Lean que se consideraron serán la base de la implementación en el sistema de

manufactura de productos discretos de la empresa interesada. Ahora se hará una aproximación a cada una de las herramientas desde impacto económico generado por ellas, con el fin de poder cuantificar de manera precisa los costos y beneficios económicos en el cambio de sistema productivo hacia un sistema Lean.

El uso de estas herramientas genera un mejoramiento en la calidad, hablando específicamente en una reducción de los costos de fallas. Es a partir de la reducción en estos costos donde analizaremos el retorno de la inversión. Para esto se debe conocer el estado actual del sistema de calidad de la empresa con sus respectivos costos, al implementar lean en el sistema se genera un estado deseado con unos costos de fallas menores. Será la diferencia en los costos de fallas lo que permita medir el impacto económico de la inversión en el sistema de producción.

En los sistemas de manufactura de productos discretos convencionales podemos encontrar una serie de costos en la calidad que terminan por sacrificar la rentabilidad de las empresas, muchas veces estos costos se convierten en parte natural del proceso debido a que las personas que integran la compañía se acostumbran a vivir con ellos y los asimilan como actividades necesarias. Este tipo de costo como desperdicios no reprocesables, reprocesos en la línea de producción, tiempo de inactividad, etc. Todos estos costos en el sistema de producción los podemos ver resumidos de forma concreta en las 7 mudas que Lean manufacturing propone mejorar:

Sobreproducción: Se producen artículos que no serán vendidos, por lo que se empieza a crear un capital en espera representado en la acumulación de inventarios, estos generan costos de almacenamiento, costo de oportunidad del capital invertido en la manufactura y recursos de los artículos elaborados.

Espera: Estas esperas salen de los procesos dependientes, ya que los operarios o máquinas deben esperar a que una pieza sea procesada o a que una estación de trabajo este libre. Este tipo de esperas disminuyen la productividad y no generan valor.

Transporte: El transporte no agrega valor, llevar los productos en proceso o herramientas son costos que la empresa deberá, son gastos que incrementan el precio del producto disminuyendo las posibilidades de venta dado que el cliente no percibe como necesario este tipo de costos.

Sobreprocesamiento: agregar piezas al producto que no son necesarias y además el cliente no nota y no está dispuesto a pagar por ellas.

Inventarios: los inventarios se dan en cualquier parte del proceso, por eso se debe tener presente que el exceso de este inventario genera costos de almacenaje, alargamiento de tiempos de ciclos, incumplimiento de entregas, daños en el producto, etc.

Movimiento innecesario: hace referencia a cómo el personal se mueve dentro del sistema productivo, todos aquellos movimientos que ellos hacen que no están generando valor o que son obligatorias para la manufactura del proceso se convierten en movimientos innecesarios, son tiempo perdido que disminuye la productividad y extra costos.

Reprocesos: todos aquellos productos que deben entrar de nuevo a uno o varios procesos por los que ya pasaron antes, así como los productos que deben ser desechados porque no cumplen con las especificaciones del cliente o del proceso.

Se han definido todos los desperdicios que lean pretende disminuir, para este caso es la diferencia en lo que cuesta cada una de esas variables antes y después de la implementación de Lean Manufacturing lo que determinará la viabilidad del proyecto de implementación de herramientas Lean.

3.2.3 Caracterización de las herramientas de Lean

Para lograr conectar más todo esto con un lenguaje de costos que sea fácilmente entendido por cualquier miembro de la compañía se relacionaran a continuación las variables que van ligadas a cada una de las herramientas de Lean y que demandan una inversión económica de la compañía para su posible implementación.

3.2.3.1 Value Stream Mapping

- Tiempo que se utiliza por parte de las personas que van a realizar el mapa del proceso. Esto se ve como un costo, puesto que estas personas dejan de realizar su trabajo que agrega valor al producto por algo que no agrega ningún tipo de valor.

3.2.3.2 5´S

- Tiempo que se utiliza por parte de las personas para realizar las actividades de limpieza en la empresa.
- Materiales requeridos para lograr una estandarización en la organización de los implementos para que así cada cosa vuelva a su lugar. Materiales utilizados para la limpieza.
- Personal extra utilizado para realizar la limpieza.

3.2.3.3 Celdas de manufactura

- Tiempo que se utiliza para el diseño y acomodamiento de las celdas y también para capacitaciones del personal.
- Capacitación del personal.
- Compra de nuevos equipos que se adecuen a la familia de los productos. Espacio utilizado para solo una familia de productos.

3.2.3.4 Jidoka

- Inversión en equipos como alarmas y sensores.
- Tiempo que se utiliza para la instalación de equipos y para capacitar a los operarios sobre el correcto funcionamiento de estos.
- Capacitación a los operarios para el correcto manejo de los equipos.
- Costo por reparación o mantenimiento de los equipos.

3.2.3.5 SMED

Tiempo utilizado en el análisis para identificar las actividades internas y externas, para luego saber cuáles se pueden volver externas. También tiempo requerido para explicar al personal la nueva forma de hacer los alistamientos.

3.2.3.6 Control visual

- Compra de elementos para las ayudas visuales.
- Tiempo para la adecuación e instalación de materiales y equipos.

3.2.3.7 Trabajo estándar

- Tiempo de personal capacitado para medición, documentación y estandarización de las actividades
- Capacitación del personal en el trabajo estándar

3.2.3.8 Kaizen

- Tiempo consumido en los diferentes niveles de la empresa por el planteamiento, diseño y retroalimentación de las mejoras
- Capacitación en cultura

3.2.3.9 Just in time (JIT)

- Tiempo de rediseños de los sistemas productivos consistentes en la modificación del tamaño de lote, flexibilización de la línea productiva, mejoramiento de tiempo de ciclos, disminución de inventarios en todo el proceso.
- Capacitar personal
- Posible compra de equipos

3.2.3.10 Heijunka

- Tiempo consumido por el personal planeando una producción suavizada
- Capacitar personal
- Posible compra de equipos

3.2.3.11 TPM

- Tiempo en diseño de las actividades de mantenimiento que debe realizar cada operador.
- Capacitación de los operarios

3.2.3.12 Poka-Yoke

- Compra de dispositivos de detección de errores
- Elaboración de mapas de actividades
- Rediseño de productos

Se han definido las variables que impactan económicamente la empresa. Se debe tener en cuenta que los costos de cada una de estas variables dependen de las necesidades de cada una de las empresas, así como del costo de personal y de equipos requeridos.

3.2.4 Herramientas de evaluación económica

Para la evaluación económica de la mejora en la rentabilidad de la empresa que se ve derivada de la implementación de herramientas Lean, se usarán los siguientes indicadores de rentabilidad:

Valor presente neto (VPN): permite calcular el valor presente de un determinado flujo de caja futuros. Con base en este indicador se sabe si las exigencias del proyecto pueden ser cumplidas, si el valor presente neto es menor a cero se dice que el proyecto no es viables, si es igual a cero cumple exactamente con las necesidades y queda a decisión del inversionista, si es mayor acero se acepta el proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR): es la tasa de inversión de un proyecto, esta tasa me vuelve cero el VPN cuando se exige la máxima tasa que la inversión puede rentar.

3.3 APOORTE INTELECTUAL DEL INVESTIGADOR

A través del conocimiento detallado de las herramientas de Lean Manufacturing se puede definir cómo se ve impactada una empresa económicamente por medio de distintas implementaciones. Para esto se investigan las posibles variables que afectan los costos que permiten conocer la inversión requerida a la hora de cualquier implementación. También se está teniendo cuenta todos los factores de producción que se ven afectados por cada herramienta para poder identificar los beneficios reflejados en dinero, y armar un flujo de caja que al aplicarle las herramientas de análisis financiero se puedan sacar conclusiones de viabilidad. Esta herramienta es de gran necesidad, puesto que las empresas no tienen a su disposición ningún modelo a seguir que les permita simular una implementación Lean para poder sacar conclusiones.

Lo que se busca con esta herramienta es que las empresas tengan cierta certeza que en lo que se va a invertir genere un beneficio económico y mejore la productividad, o que de lo contrario sino sirve no se invierta tiempo y recursos valiosos en algo poco viable. Sin duda la incertidumbre disminuye a través del conocimiento previo de los beneficios y riesgos de la implementación de herramientas Lean, la toma de decisiones será mucho más fácil porque estará basada en datos determinantes para la empresa como lo es la relación costo – beneficio.

3.4 METODOLOGÍA

ETAPAS DEL TRABAJO

Tabla 1 Utilización de Metodologías en el proyecto

N°	Etapas del Proyecto	Actividades críticas	Metodologías Específicas
1	Crear el Marco de referencia	Antecedentes o estudios previos, marco teórico y aporte intelectual	Investigación y análisis bibliográfico
2	Análisis de las herramientas de Lean manufacturing	Búsqueda de información, consulta a expertos	Entrevistas, lectura de investigaciones previas
3	Diseño de modelos causales para cada herramienta de Lean	Comprender la relación entre la herramienta y sus efectos	Definir las variables que afectan cada herramienta, modelar las relaciones encontradas en Vensim
4	Identificar las variables que usa el gerente y el ingeniero para implementar las herramientas de Lean	Comprender las necesidades generales de las industrias para el uso de Lean en la implementación de Kaizen	Definir necesidades y plantear las variables críticas modelables en Vensim
5	Relacionar Todos los modelos de las herramientas y armar un modelo grande integrado	Encontrar las conjeturas existentes entre las diferentes herramientas de Lean y las necesidades	Unir en Vensim las variables que son comunes entre las diferentes herramientas Lean
6	Traducir el modelo de Vensim a un modelo económico en Excel	Comprender el impacto económico generado por la mejora de cada una	Evaluación del VPN, TIR, ROI en cada una de las mejoras que se planteen en el modelo de Vensim

		de las herramientas de Lean	
--	--	--------------------------------	--

3.5 MARCO LÓGICO

Tabla 2 Matriz del Marco Lógico

META	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
Diseñar una herramienta que permita evaluar el impacto económico de la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué resultados arroja la simulación en Vensim? • ¿Qué tan viable muestra ser la implementación de mejoras según los resultados económicos obtenidos en el modelo de Excel? 	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones del tutor metodológico, tutor temático y experto en simulación en Vensim. • Informes quincenales del seguimiento del proyecto. • Informes entregados al tutor metodológico. 	<ul style="list-style-type: none"> • No existe una herramienta en la región que le permita a las empresas conocer cómo mejorar a través de las herramientas Lean Manufacturing.
PROPÓSITOS DEL COMPONENTE	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
1. Identificar variables de producción que se ven afectadas por la implementación de Lean	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Las fuentes utilizadas son confiables? • ¿El grado de especialización de la información es alto? • ¿Las variables 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis sobre casos de manufactura de productos discretos • Revistas, papers, internet, libros. • Retroalimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe suficiente información acerca de las herramientas de Lean. • Es posible acceder a la

Manufacturing	<p>señaladas representan la necesidad de los empresarios de la región?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se incluyen todas las variables? 	<p>de los modelos de simulación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consultar expertos 	<p>información.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los modelos son representativos
2. Identificar las relaciones entre las variables que afectan la producción y las mejoras propuestas por Lean	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se han identificado una cantidad significativamente representativa de relaciones? • ¿Las relaciones identificadas si son las adecuadas? • ¿Se han definido correctamente las variables que afectan la producción y las mejoras de Lean? 	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones del tutor metodológico y tutor temático. • Revistas, papers, internet, libros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las mejoras que plantearán deben ser implementadas en las relaciones encontradas entre las variables que afectan la producción y Lean.
3. Construir modelos causales que capturen la relación entre las variables.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se están teniendo en cuenta todas las variables en cada uno de los modelos? • ¿Cada modelo está compuesto en su totalidad por solo variables? 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados obtenidos en Vensim. • Observaciones del tutor temático y del experto en Vensim 	<ul style="list-style-type: none"> • Los modelos planteados son simulables en Vensim.
4. Integrar los modelos causales con una herramienta para evaluar	<ul style="list-style-type: none"> • ¿la herramienta es representativa? • ¿Es viable el proyecto desde los resultados de la herramienta? 	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones del tutor metodológico y tutor temático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden integrar los modelos de cada herramienta • Se puede

económicamente proyectos de implementación Lean	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se están teniendo en cuenta todos los costos en los que se incurre para la implementación de Lean? 		hacer una evaluación económica de los modelos
5. Componente 1: Identificar variables de producción que se ven afectadas por la implementación de Lean Manufacturing - Productos y Actividades			
PRODUCTOS Y ACTIVIDADES	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
Producto 1.1 Marco de referencia	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Las fuentes utilizadas son confiables? • ¿El grado de especialización de la información es alto? • ¿Las variables señaladas representan la necesidad de los empresarios de la región? • ¿Se incluyen todas las variables? 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis sobre casos de manufactura de productos discretos • Revistas, papers, internet, libros. • Retroalimentación de los modelos de simulación • Consultar expertos 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe suficiente información acerca de las herramientas de Lean. • Es posible acceder a la información. • Los modelos son
Actividad para el producto 1.1	Insumos especiales		Supuestos
Mediante la investigación en papers, revistas, libros e internet.	<ul style="list-style-type: none"> • Tutor temático que coordine la investigación. • Base de datos de la Universidad Icesi. • Manejo del inglés por parte de los investigadores • Libros encontrados en las bibliografías de los papers y libros recomendados. 		<ul style="list-style-type: none"> • Los insumos mencionados serán suficientes para abordar totalmente la realización del marco de

		referencia.	
Componente 2: Identificación de relaciones entre variables que afectan la producción y las mejoras propuestas por Lean – Productos y Actividades			
PRODUCTOS Y ACTIVIDADES	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
Producto 2.1 esquema que muestra las relaciones entre las variables.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿El esquema integra todas las variables? • ¿La relación de las variables es idónea? 	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones del tutor metodológico, y del tutor temático 	<ul style="list-style-type: none"> • Se hicieron las relaciones adecuadas
Actividad para el producto 2.1	Insumos especiales		Supuestos
Lluvia de ideas de las posibles variables que afectan la producción	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía encontrada en papers. • Tutor temático • Internet, papers e investigaciones anteriores 		<ul style="list-style-type: none"> • Se tendrá a disposición la información
Escoger las variables adecuadas	<ul style="list-style-type: none"> • Tutor temático 		<ul style="list-style-type: none"> • Las variables escogidas son las correctas
Relacionar las variables entre si	<ul style="list-style-type: none"> • Tutor temático 		<ul style="list-style-type: none"> • Las relaciones encontradas sean las indicadas

Componente 3: Construir modelos causales que capturen la relación entre las variables – Productos y servicios			
PRODUCTOS Y ACTIVIDADES	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
Producto 3.1 Modelos simulados en Vensim seleccionados	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se están teniendo en cuenta todas las variables en cada uno de los modelos? • ¿Cada modelo está compuesto en su totalidad por solo variables? 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados obtenidos en Vensim. • Observaciones del tutor temático y del experto en Vensim 	<ul style="list-style-type: none"> • Los modelos planteados son simulables en Vensim.
Actividad para el producto 3.1	Insumos especiales		Supuestos
Hacer diagramas causales en Vensim	<ul style="list-style-type: none"> • Computador con Vensim • Tutor temático 		
Componente 4: Integrar los modelos causales con una herramienta para evaluar económicamente proyectos de implementación Lean – Productos y Actividades			
PRODUCTOS Y ACTIVIDADES	PREGUNTAS DE DESEMPEÑO E INDICADORES	MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y FUENTES DE INFORMACIÓN	SUPUESTOS
Producto 4.1 Herramienta en Excel para la evaluación económica de las mejoras	<ul style="list-style-type: none"> • ¿la herramienta es representativa? • ¿Es viable el proyecto desde los resultados de la herramienta? • ¿Se están teniendo en cuenta todos los costos en los que se incurre para la 	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones del tutor metodológico y tutor temático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son factibles estas propuestas

	implementación de Lean?		
Actividad para el producto 4.1	Insumos especiales		Supuestos
Simulación económica en Excel de las mejoras.	<ul style="list-style-type: none"> • Programas computacionales del laboratorio de Ingeniería Industrial. 		<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden integrar los modelos de cada herramienta • Se puede hacer una evaluación económica de los modelos

4. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

4.3.1 Recursos

Para la administración de este proyecto se necesitarán recursos financieros, físicos y humanos que se explican a continuación:

4.3.1.1 Recursos Financieros

No hay recursos externos para la realización de este proyecto, todos los recursos serán suministrados por los investigadores.

4.3.1.2 Recursos Físicos

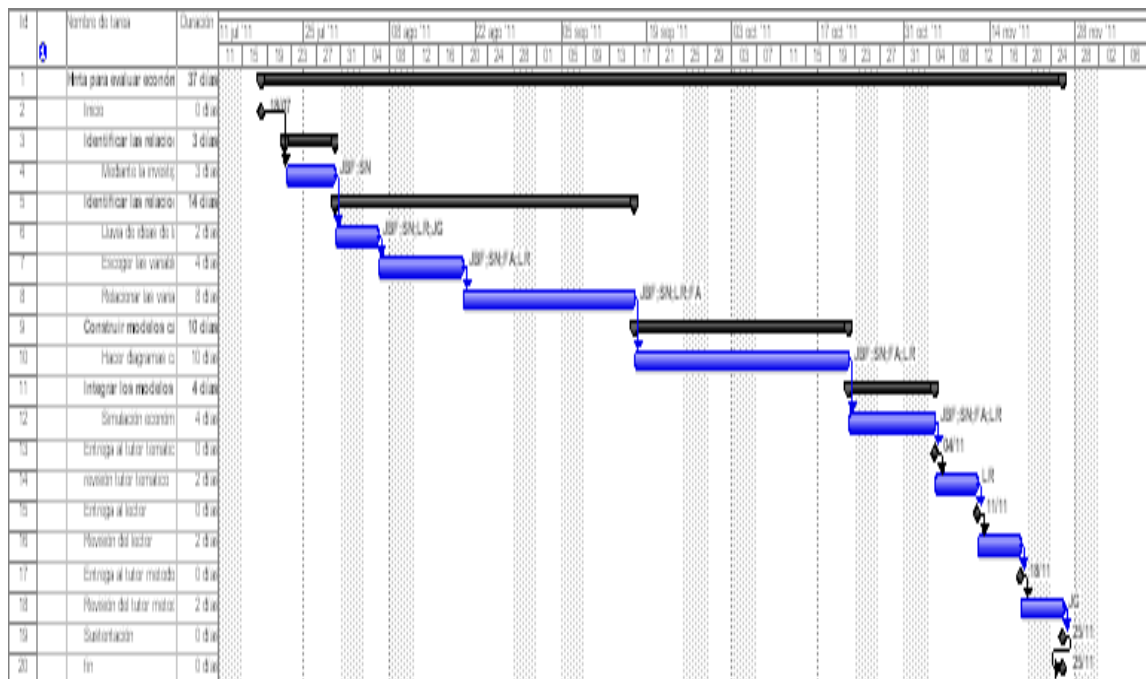
- Computadores: Se necesitarán dos computadores portátiles para la documentación del proyecto, análisis de los datos, comunicación entre los investigadores y simular los diferentes escenarios propuestos por los investigadores. Para esto se necesitará tener acceso a internet y el paquete completo de Microsoft Office 2007 y Vensim.

4.3.1.3 Recursos Humanos

- Investigadores: Responsables directos de la realización del proyecto.
- Tutor temático: Persona encargada de guiar a los investigadores en la realización del proyecto.
- Tutor metodológico: Persona encargada de ofrecer asesoría en asuntos metodológicos a los investigadores.
- Asesor: ofrecerá ayuda en el desarrollo de las simulaciones en Vensim.

4.3.2 Cronograma

Compañía	Universidad Icesi
Fecha actual	14/05/2011
Título	Cronograma PDG FINAL
Comienzo del proyecto	18/07/2011 10:00:00
Fin del proyecto	25/11/2011 14:00:00



5. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para darle cumplimiento al desarrollo del proyecto se iniciara haciendo una descripción a nivel macro de las variables que se deben tener en cuenta en la producción para manufacturar productos discretos. Se limitará la descripción de las variables de producción a aquellas que se ven afectadas directamente por la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing o que sean de carácter necesario para la comprensión y simulación del proyecto.

5.1 VARIABLES DE PRODUCCIÓN

La descripción de las variables ha sido realizada por medio de patrones comunes que comparten las variables, se han tenido en cuenta los tiempos, las distancias, espacio físico de planta y bodegas, flujo del proceso, restricciones o parámetros, indicadores.

5.1.1 Tiempo

Estas variables hacen una descripción del tiempo de las personas y máquinas que intervienen y determinan el comportamiento del sistema de manufactura.

Tiempo Operarios

1. Tiempo de transporte: Describe el tiempo consumido por un operario realizando una operación en la que debe transportar materiales, WIP o producto terminado. Se debe tener en cuenta que este tiempo es contabilizado indistintamente del medio que utiliza la persona para transportar.
2. Tiempo ocioso Op: Describe el tiempo consumido por un operario esperando a que se realice una acción, debido a que su participación dentro de la secuencia de actividades se considera como dependiente de la acción que está esperando.

3. Tiempo de búsqueda para alistamiento op: Describe el tiempo consumido por un operario en la búsqueda de herramientas y materia prima necesarias para preparar el sistema de manufactura para hacer el cambio y poder producir una referencia distinta.
4. Tiempo de alistamiento op en Mq: Describe el tiempo consumido por un operario realizando tareas en los equipos del sistema de manufactura para poder producir una referencia.
5. Tiempo de búsqueda de herramientas: Es el tiempo necesario que requieren los operarios para realizar la búsqueda de la herramientas que serán usadas en los alistamientos de las maquinas, cuando se vaya a hacer un cambio de referencia.
6. Total tiempo de alistamiento op: Es la suma de los tiempos que se demora el operario en el alistamiento en la máquina y el que se demora en la búsqueda de materias primas y herramientas.
7. Tiempo de trabajo operario: Se considera trabajo únicamente el tiempo en el que un operario está agregando valor al producto. Por lo que este tiempo hace referencia únicamente al tiempo en el que el operario agrega valor.
8. Tiempo caminatas: Describe el tiempo consumido por un operario desplazándose del punto A al punto B sin agregar valor y sin transportar materiales.
9. Tiempo búsqueda de materias primas: Describe el tiempo consumido por un operario en la consecución de los materiales necesarios para la operación que le corresponde.
10. Tiempo total de mantenimiento Op: Mide el tiempo total que invierten los operarios en actividades de mantenimiento en un periodo de tiempo.
11. Tiempo de mantenimiento Op: Se describe como la variable acumulativa de los mantenimientos realizados en los equipos.
Tiempo de mantenimiento = Tiempo de mantenimiento preventivo/predictivo + Tiempo de mantenimiento correctivo.

Tiempo Máquinas

1. Tiempo de mantenimiento preventivo Mq: Describe el tiempo que se consume en actividades de mantenimiento preventivo sobre un equipo.
2. Tiempo de mantenimiento predictivo Mq: Describe el tiempo que se consume en actividades de mantenimiento predictivo sobre un equipo.
3. Tiempo de mantenimiento correctivo Mq: Describe el tiempo que se consume producto de las acciones de mantenimiento para arreglar una falla inesperada en un equipo.
4. Tiempo de trabajo máquina: Describe el tiempo que un equipo tarda haciendo en la transformación del producto. Este tiempo se considera como un tiempo en el que los equipos están agregando valor al proceso.
5. Tiempo para producir una unidad de la maquina mas demorada: Es el tiempo de operación de la maquina mas demorada en comparación a las demás para producir una unidad.
6. Tiempo para producir una unidad de la maquina predecesora a la más demorada: Es el tiempo que se demora la máquina que esta antes de la máquina más demorada.
7. Tiempo total de mantenimiento Mq: Es el tiempo total que se consume en actividades de mantenimiento a las máquinas en un periodo.
8. Tiempo ocioso Mq: Describe todo aquel tiempo consumido por un equipo esperando a que se realice una acción, debido a que su participación dentro de la secuencia de actividades se considera como dependiente de la acción que está esperando.
9. Tiempo alistamiento de máquina: Describe el tiempo que una máquina requiere para poder empezar a producir una referencia.

Tiempo Procesos

1. Lead Time: Tiempo que toma un pedido. Se cuenta desde que se pone la orden del cliente hasta que el producto es recibido por el cliente.

REAL LEAD TIME		
Paper LT	Physical LT	Transportation LT

Como se ve en la figura el Lead Time tiene variables que lo componen y determinan, estas son descritas a continuación.

2. Paper Lead Time: Es un tiempo consumido previo a la producción, en este solo se hace el papeleo, las reuniones y la planeación necesaria para iniciar el proceso de manufactura.
3. Physical Lead Time: Es el tiempo que transcurre desde que se produce la primera unidad de una referencia y va hasta que la última unidad de esa referencia es producida y la orden completa se encuentra lista para despacho.
4. Transportation Lead Time: Tiempo de transportar una orden desde la bodega hasta el cliente.
5. Lead time del proveedor: Es el tiempo que se demora el proveedor en entregar el producto desde el momento en que se le envía la orden de compra.
6. Tiempo invertido en inspección: Es el tiempo consumido debido a la revisión de los estándares.
7. Tiempo total de inspecciones: Es el tiempo total consumido en las distintas inspecciones realizadas en un periodo.
8. Tiempo promedio de paradas por fallas en equipos: Es el tiempo promedio de las paradas por fallas en equipos.
9. Tiempo total de fallas equipos: Es el tiempo total consumido por las paradas causadas por las fallas en equipos en un periodo de tiempo.
10. Changeover total: Es el tiempo de alistamiento total requerido para empezar a producir una referencia. Contiene el tiempo de alistamiento de las máquinas, el tiempo que gastan los operarios en esta actividad más el tiempo de ensayo. La formulación del changeover depende de la interrelación existente entre operarios y máquinas a la hora del alistamiento. De manera que según el caso se puede entender como \sum Tiempo alistamiento de máquina + Tiempo de alistamiento operario + tiempo de

ensayo ó MAX (Tiempo de alistamiento operario, Tiempo alistamiento de máquina) + tiempo de ensayo.

11. Changeover: Es el tiempo total de alistamiento.
12. Tiempo disponible de trabajo: Es el tiempo del que la empresa dispone para producir. Puede ser visto de manera diaria, semanal, mensual o como mejor se entienda para las necesidades de la empresa.
13. Tiempo de ciclo: Indica cada cuánto puede salir una unidad terminada del sistema. Es determinado por el cuello de botella.
14. Tiempo de espera en cola: Es el tiempo total que tuvieron que esperar todas las unidades en cola para ser procesadas.
15. Tiempo de ensayo: Es el tiempo que se consume mientras se calibra la máquina hasta que empieza a sacar productos buenos.
16. Tiempo capacitación op: Es el tiempo que se usa para realizar capacitaciones a los operarios.
17. Tiempo agregando valor: Es el tiempo total dentro de la compañía en el cual se agrega valor, este comprende el tiempo de agregar valor de los operarios y de las máquinas. Se debe ser cuidadoso al entender este tiempo debido a la relación que se tiene de los operarios con las máquinas. El tiempo agregando valor es una fracción del tiempo disponible para producir. A continuación se muestran las posibles relaciones entre operarios y máquinas.

Escenario 1:

Tiempo operario agregando valor
Tiempo máquina agregando valor

En este caso el producto adquiere valor mientras la máquina y el operario trabajen de manera conjunta, de modo que el tiempo de agregar valor total es igual a uno de los dos tiempos.

Escenario 2:

Tiempo operario agregando valor

Tiempo máquina agregando valor

En este caso tenemos actividades dependientes y tanto el operario como la máquina trabajan de manera separada. Se entiende que la máquina está automatizada. Para este caso el tiempo total de agregar valor se entiende como la suma de los dos tiempos. No difiere la formulación si se cambia el orden de operario y máquina.

Escenario 3:

Tiempo operario agregando valor

Tiempo máquina agregando valor

En este caso se tiene que el producto requiere de la intervención del operario únicamente hasta lograr un estado en el que la máquina puede intervenir, luego de esto la operación es una combinación del operario y máquina, para que finalmente la máquina termine la labor por si sola. Se entiende un proceso semi-automatizado. En este caso el tiempo de agregar valor será concebido como la diferencia entre la hora de terminación de la máquina y la hora de inicio del operario. No difiere la formulación si se cambia el orden de operario y máquina.

Escenario 4:

Tiempo operario agregando valor

Tiempo máquina agregando valor

En este caso operario y máquina trabajan de manera conjunta, pero la intervención de uno de los dos requiere que sea más larga para la transformación del producto. No difiere la formulación si se cambia el orden de operario y máquina.

5.1.2 Distancia

Estas variables son una descripción que hace referencia al diseño de planta, con el objetivo de conocer las distancias que se deben recorrer para desarrollar operaciones. Estas variables servirán para conocer la velocidad a la que la empresa se mueve antes y después de Lean.

1. Distancia promedio entre máquina y máquina: Es la distancia promedio existente entre las máquinas de la empresa, siempre y cuando estas estén relacionadas por el orden de operaciones de un producto o por la manera en cómo se desempeña el operario dentro de una celda de manufactura.
2. Distancia entre bodega de MP y maquina: Es la distancia que existe entre la bodega de MP y la primera máquina donde comienzan las operaciones de transformación.
3. Distancia entre máquina y bodega de PT: Es la distancia que debe recorrer el operario para llevar el producto desde la última máquina donde realiza la operación hasta la bodega de producto terminado y la de devolverse hasta la máquina.
4. Distancia de máquina a herramientas: Es la distancia que existe entre las herramientas y la máquina que las requiere.
5. Distancia recorrida por el producto: Es la distancia total que recorre el producto desde bodega de MP hasta bodega de PT.
6. Distancia que recorren los operarios: Es la suma de todos los recorridos del operario

5.1.3 Espacio Físico de planta y bodega

Estas variables dan un conocimiento general de la bodega y se crean con el objetivo de comparar las mejoras que propone Lean, desde la producción, a toda la distribución de planta, sabiendo que la parte física es una implicación alta de costos e inversión que puede ser reducida desde el mejoramiento del flujo del sistema de manufactura.

1. Área que ocupan los equipos en la planta.
2. Área que ocupa la materia prima en la planta.
3. Área que ocupa el producto terminado en la bodega de PT.
4. Área de ocupa la materia prima en la bodega de MP.
5. Área que ocupa el producto en proceso en el área de la planta.
6. Área que ocupa el producto terminado en la planta

7. Espacio disponible en planta: Es el área o volumen de la planta menos la suma de las áreas que ocupan los equipos en planta, la MP en planta, el WIP y el PT.
8. Factor de espacio disponible en planta: Es la proporción de espacio que se puede utilizar realmente después descontarle el espacio ocupado por pasillos, áreas de salidas de emergencia, equipos de seguridad.
9. Factor de espacio disponible en bodega de PT: Es la proporción de espacio que se puede utilizar realmente después descontarle el espacio ocupado por pasillos, áreas de salidas de emergencia, equipos de seguridad etc a la bodega de PT.
10. Factor de espacio disponible en bodega de MP: Es la proporción de espacio que se puede utilizar realmente después descontarle el espacio ocupado por pasillos, áreas de salidas de emergencia, equipos de seguridad etc a la bodega de MP.
11. Dimensiones del producto: Son las medidas del producto.
12. Dimensiones de la MP: son las medidas de las materias primas.
13. Espacio disponible en bodega de MP: Es la diferencia entre el área o volumen de bodega y la ocupación de materia prima.
14. Espacio disponible en bodega de PT: Es la diferencia entre el área o volumen de bodega y la ocupación de producto terminado.
15. Área o volumen de bodega PT: Es el volumen o área disponible en bodega para almacenar producto terminado.
16. Área o volumen de planta: Es el volumen o área disponible en planta.
17. Área o volumen de bodega de MP: Es el volumen o área disponible En bodega para almacenar materia prima.

5.1.4 Flujo del proceso

Estas variables demuestran la situación actual del sistema de manufactura. Son de gran importancia para el desarrollo y entendimiento de la organización y es donde el las mejoras de Lean demuestran su potencial generando en el sistema de manufactura un mayor flujo.

1. **Tamaño de lote:** Es el tamaño estándar de producción. Es una variable que afecta el proceso y el flujo del producto dentro de este. Dependiendo de esta, se van a afectar otras variables como cantidad de producto en proceso, frecuencia de despachos e inventarios de producto terminado. La reducción del tamaño de lote puede contribuir a la disminución de producto en proceso tanto como los inventarios de producto terminado.
2. **Inventario en cola:** La cantidad de inventario en proceso se genera por los cuellos de botella, los tamaños de lote, la disponibilidad de los operarios, la disponibilidad de las maquinas. Este inventario se acumula entre las estaciones ocupando un espacio importante en donde no se le está agregando valor al producto. Esta variable debe ser reducida en lo posible porque los inventarios son un tipo de desperdicio y que representan un costo para la empresa.
3. **Frecuencia de despachos:** Esta variable da evidencia de la periodicidad con la que se realizan los despachos de producto terminado, esta determina la cantidad de inventarios y el lead time. Mientras la frecuencia sea más alta los niveles de inventario se reducirán y los lead time serán más cortos.

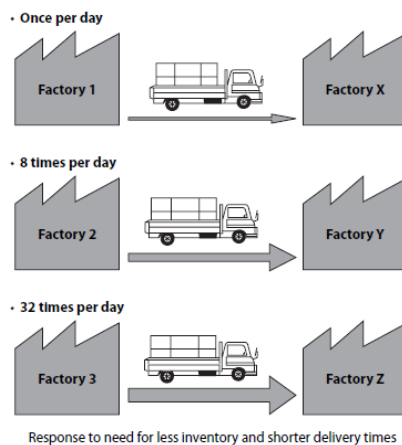


Figure 5.37 Frequency of Deliveries.

4. **Estándar del inventario en proceso:** Es el nivel de inventario mínimo en proceso, que la empresa debe conocer para que se mantenga el flujo continuo del producto durante el proceso.
5. **Inventario de producto terminado en planta:** Es la cantidad de producto terminado que se dentro del espacio de la planta. Es considerado un tipo de desperdicio que debe ser reducido y que afecta el flujo de caja.

6. Inventario de producto terminado en bodega de PT: Es la cantidad de producto terminado que se tiene almacenado en la bodega de PT.
7. Inventario de MP en bodega de MP: Es la cantidad de materia prima que se tiene almacenada dentro de la bodega.
8. Inventario de MP en planta: Es la cantidad de materia prima que se tiene dentro del espacio de la planta.
9. Cantidad de inspecciones: Es el número de inspecciones de calidad que se le realizan al producto durante el proceso. Es una variable que afecta el flujo continuo del producto durante el proceso y que a mayor cantidad va a generar impacto en variables de tiempo y de flujo. Durante las inspecciones no se le está agregando valor al producto, por lo que deben ser reducidas al mínimo, o lograr la implementación de nuevos métodos más efectivos y adecuados para realizarlas.
10. Cantidad de mantenimientos: Es el número de mantenimientos realizados a las maquinas en un lapso de tiempo determinado.
11. Cantidad de mantenimientos correctivos: Es el número de mantenimientos correctivos realizados a las maquinas en un tiempo determinado.
12. Cantidad de mantenimientos preventivos: Es el número de mantenimientos correctivos realizados a las maquinas en un tiempo determinado.
13. Cantidad de mantenimientos predictivos: Es el número de mantenimientos correctivos realizados a las maquinas en un tiempo determinado.
14. Número de máquinas: Es la cantidad de máquinas que se encuentran presentes en la empresa y que son utilizadas para transformar la materia prima en productos.
15. Frecuencia de cambio de referencias: Es la cantidad de veces que se realiza un cambio de referencia dentro de una línea de producción en un lapso de tiempo determinado.
16. Velocidad promedio de un operario: Es la velocidad promedio a la que camina un operario.
17. Cantidad de recorridos transportando: Es la suma de todos los recorridos que se realizan cuando el operario está llevando material, producto terminado o producto en proceso.

18. Política de inventario: Cuantos periodos de tiempo se desea cubrir contra la variabilidad de la demanda.
19. Safety stock: Es el colchón de seguridad en unidades, que se tiene para afrontar la variabilidad de la demanda.
20. Cantidad de caminatas: Es la suma de todos los recorridos que se realizan cuanto no se está transportando material.
21. Velocidad promedio de transportar: Es la velocidad promedio a la que se transportan los productos.
22. Número de máquinas: Es la cantidad de máquinas que se necesita para la transformación de la materia prima en producto terminado.
23. Requerimientos de tiempos de entrega clientes: Son las fechas en las que el cliente necesita el producto disponible.
24. Nivel de servicio de entregas: Es la relación que hay entre el lead time de la empresa y los requerimientos de fechas de entrega que exigen los clientes para tener el producto.
25. Capacidad de producción: Es la cantidad de producto terminado que puede hacer la empresa en un periodo de tiempo.
26. Índice de cumplimiento de la demanda: Esta variable describe la razón a la que puedo cumplir o no con la demanda.
27. Demanda: Es la cantidad de productos solicitada por los clientes.
28. Trabajadores actuales: Son los trabajadores necesarios para cumplir con la producción de las unidades que se demandan.
29. Reestructuración de personal: Es el número de trabajadores necesarios que deben entrar o salir del sistema para cumplir con los requerimientos necesarios de la empresa para mantener el sistema de manufactura dentro de los límites esperados de funcionamiento
30. Factor de reestructuración de personal: Valor porcentual que indica cuánto es lo máximo que la empresa está dispuesta a aumentar o reducir su capacidad laboral en un periodo de tiempo dado.
31. Capacidad estándar de producción de un operario: La cantidad estándar de productos que puede hacer un operario en un periodo.

32. Salario promedio de los trabajadores: Es el promedio de la remuneración económica que se les da a los trabajadores.
33. Fracción unidades defectuosas por errores de los trabajadores: Es el valor porcentual de las unidades producidas que por la variabilidad del sistema de manufactura, salen por fuera de las especificaciones debido a errores cometidos por los trabajadores.
34. Número de paradas por fallas de equipos: Es la cantidad de paradas de causadas por fallas en los equipos.
35. Trabajadores requeridos: Es el número de trabajadores adicionales que se requieren para cumplir con la demanda.
36. Número de operarios requeridos para inspección: Cantidad de operarios que se necesitan para realizar las actividades de inspección.
37. Trabajadores iniciales: Es la cantidad de trabajadores que hay en el periodo cero.
38. Desperdicio: Es la cantidad de materias primas que no pueden ser utilizadas para la elaboración de producto debido a que están por fuera de especificaciones, o que se han dañado por determinada eventualidad. También hace parte del desperdicio los productos terminados que no cumplen con las especificaciones y que no pueden ser reprocesados.
39. Inventario en planta: Es la cantidad de inventario de materia prima y de producto terminado dentro del espacio de la planta.
40. Cantidad de mantenimientos op: Es el número de mantenimientos en los que se ve involucrado un operario.
41. Reprocesos: Es el número de piezas que por defectos de calidad deben ser procesadas nuevamente.
42. Factor de unidades reprocesadas: Valor porcentual promedio medido por la empresa del número de unidades que son reprocesadas en un periodo de tiempo dado.
43. Rotación de personal: Índice que mide cada cuanto se cambia personal en la empresa.
44. Número de procesos: Es la cantidad de procesos de manufactura por los que debe pasar la materia prima para que sea transformada en el producto. Debe tenerse en cuenta que una mayor cantidad de procesos implica

mayor costo en la manufactura del producto. También se debe tener en cuenta que el cliente no necesariamente aprecia percibe como valor agregado todas estas operaciones.

45. Takt time: Es el ritmo al que se debe producir para cumplir con una demanda determinada.

5.1.5 Parámetros o restricciones

Son variables de entrada para la compañía, pueden venir desde el cliente o desde el proveedor. Incluyen también las restricciones naturales de los procesos dentro de la compañía.

1. Volúmenes de órdenes: Es la cantidad de órdenes programadas para realizar la producción en un tiempo determinado.
2. Capacidad de producción: Es la cantidad de productos que puede hacer la empresa en un espacio de tiempo determinado. Puede determinarse por turnos, días o meses.

5.1.6 Indicadores de proceso

1. Eficiencia de producción: Este indicador evidencia que tan eficiente se está siendo con la relación de la materia prima que está entrando al proceso y la cantidad de producto terminado que sale. Se debe tener en cuenta el tiempo que se consumió para transformar el producto, y el ritmo al que se vende lo que se está produciendo.
2. Production output: Es la cantidad de producto terminado que sale del proceso después de haber utilizado determinada cantidad de materia prima.
3. Production input: Es la cantidad de materia prima que se ingresa al proceso para poder realizar determinada cantidad de producto terminado.
4. Número de unidades producidas: Es la cantidad de producto terminado en un tiempo determinado.
5. Número de unidades producidas buenas: Es la cantidad de producto conforme a las especificaciones de calidad.

6. Número de unidades producidas defectuosas: Es la cantidad de producto que no cumple con las especificaciones de calidad.
7. Indicador de necesidad de capital humano: Representa porcentualmente el balance entre los trabajadores que tienen y los que se deberían tener.
8. Fracción de unidades defectuosas por calibración de los equipos: Es el valor porcentual de las unidades producidas que por la variabilidad del sistema de manufactura, salen por fuera de las especificaciones debido a a la calibración de los equipos.

5.1.7 Costos de producción

1. Costo de alistamiento: Es el costo de no agregar valor debido al tiempo que gastan los operarios y las maquinas en las actividades de alistamiento y además el valor de las materias primas que se gastan en los productos que salen fuera de las especificaciones debido a la calibración de las máquinas.
2. Costo de Mp: Es el precio al que se compra la materia prima.
3. Costo de transportar: Es el costo utilizado en los recursos necesarios para transportar los materiales o productos por el sistema de producción.
4. Costo por unidad de distancia recorrida del producto por unidad de tiempo: Es el costo por unidad de distancia recorrida por el producto en un periodo de tiempo.
5. Costo del nivel de servicio por LT:
6. Costo perdida cliente: El valor económico en el que la empresa incurre debido a las órdenes perdidas porque un cliente se vaya.
7. Costo por sanciones legales: Costo en el que se incurre por llegar a faltar con las exigencias o contratos con clientes.
8. Costo por devoluciones: Es el costo en el que se incurre por enviar producto a los clientes sin que cumplan con sus estándares de calidad y que no pueden ser vendidas.

9. Costo de faltantes: Valor económico consolidado de todas las unidades que se dejaron de vender debido a la incapacidad del sistema para satisfacer la demanda.
10. Costo del capital humano no agregando valor: Valor económico del tiempo en el que los trabajadores no están agregando valor.
11. Costo de Mq no agregando valor: Valor económico del tiempo en el que la máquina no agrega valor.
12. Costo de sostenimiento de la Mq por unidad de tiempo: Sumatoria de los costos fijos y variables de los equipos sobre las unidades buenas producidas.
13. Costos fijos equipos: Costos de mantener los equipos funcionando. Estos costos tienden a mantenerse fijos y están en función del tiempo.
14. Costos variables equipos: Costos de mantener los equipos funcionando. Estos costos tienen a fluctuar en el tiempo debido al volumen de producción. Prestación de un servicio, etc.
15. Costo de almacenar WIP: Valor monetario de tener inventario de WIP dentro de la planta.
16. Costo de manejar Inv. en planta: Gasto en que se incurre por manipular el inventario en la planta, se deriva de pagar equipos para transporte, infraestructura, trabajadores, etc. (depende de la organización en que se esté evaluando)
17. Costo de almacenar inventario en planta: Valor monetario de tener inventario de MP y PT dentro de la planta.
18. Costo de una unidad defectuosa: Valor monetario de producir una unidad por fuera de especificaciones de calidad.
19. Costo de por exceso de personal: Gasto debido a un número superior de personal del necesario.
20. Costo de producción por unidad: Valor monetario estimado de producir una unidad dentro de las especificaciones de calidad.

21. Costo de almacenar PT: Valor monetario en el que se incurre debido a la manipulación y disposición de del PT en la bodega de PT.
22. Costo de manejar Inv. en bodega: Gasto en que se incurre por manipular el inventario en las bodegas, se deriva de pagar equipos para transporte, infraestructura, trabajadores, etc. (depende de la organización en que se esté evaluando)
23. Costo de almacenar MP: Valor monetario en el que se incurre debido a la manipulación y disposición de la MP que llega a la empresa.
24. Costo de no calidad: Consolidación de los costos que se derivan de producir unidades por fuera de especificaciones o por paradas inesperadas de los equipos debido a fallas.
25. Costo de falla de equipos por unidad de tiempo: Valor monetario promedio calculado por las fallas de los equipos en una unidad de tiempo
26. Costo de capacitación: Valor monetario que la empresa debe asumir para capacitar a un trabajador para realizar una funciones determinadas dentro del sistema de manufactura, tiene en cuenta el nivel de rotación debido a que este afecta directamente el número de empleados a ser capacitados en un periodo de tiempo dado.
27. Costo de desperdicios: Valor monetario de la fracción de la MP que entra al sistema de manufactura y no sale como PT.
28. Costo de mantenimiento por unidad de tiempo: Valor totalizado de lo que cuestan los mantenimientos en un periodo dado, describen este costo en una unidad de tiempo dada.
29. Costo de mantenimiento: Valor monetario totalizado de lo que cuestan los mantenimientos en un periodo dado.
30. Costo insumos de mantenimiento: Gasto debido a los materiales que se deben comprar para realizar las actividades de mantenimiento.
31. Costo de un reproceso: Valor monetario de tener que reprocesar una unidad.

32. Costo de reprocesos: Valor monetario en el que se incurre debido a la necesidad de reprocesar un número determinado de unidades.
33. Costo del sistema de manufactura: Es la sumatoria de todos los costos, en un periodo dado, que se derivan de producir con el sistema de manufactura descrito.
34. Costo acumulado del sistema de manufactura: Describe a través del tiempo la sumatoria de todos los periodos simulados hasta el periodo de interés.

5.2 PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING.

Los proyectos de implementación de Lean en el modelo de Vensim son descritos como pasos en el tiempo de cumplimiento de un proyecto, es expresado desde valores porcentuales que muestran hasta qué punto se ha avanzado en el proyecto a través del tiempo. Estos valores porcentuales son los que afectarán las variables que dependen de cada uno de los proyectos.

A continuación se muestran las relaciones causales que describen el comportamiento de un sistema de manufactura de productos discretos desde el alcance que tienen las herramientas de Lean para perturbar el estado del sistema con el objetivo de llevarlo a un lugar deseado. Debe tenerse en cuenta que las imágenes del proyecto que se muestran a continuación no contienen la totalidad de las variables y relaciones para el desarrollo completo del modelo, únicamente se muestran las relaciones directas primarias de los proyectos con el objetivo de describir las relaciones más importantes encontradas entre las herramientas de Lean y los sistemas de manufactura para productos discretos.

5.2.1 Kaizen

Kaizen se relaciona directamente a cada uno de los proyectos de implementación en el modelo, debido a que es el motor que impulsa, a través del tiempo, la mejora continua del sistema de manufactura. Se encontró que a través de esta filosofía el sistema debe ser impulsado al compromiso del mejoramiento día a día. De esta manera es que los proyectos de implementación de las herramientas de Lean se

pueden inscribir en un cronograma que describa el cumplimiento de un proyecto en valores porcentuales hasta lograr el valor esperado.

5.2.2 Proyecto de implementación de SMED.

En los sistemas de manufactura los tiempos de alistamiento generan un efecto crítico en competitividad por el incremento en costos y tiempos de respuesta. SMED es una herramienta que fundamenta en su filosofía en el desarrollo de métodos que logren una mejora al cambiar una actividad de interna a externa. Disminuyendo de esta manera los tiempos en los cuales el sistema de manufactura no está agregando valor.

Siguiendo el orden de ideas anteriormente descrito, se observa que las variables cuantificables existentes en un sistema de manufactura que pueden ser tratadas desde SMED con el objetivo de obtener las mayores posibles para disminuir el costo total del sistema son todas aquellas que impacten el tiempo que requiere una actividad para lograr empezar a transformar producto o a agregar valor.

Con SMED se pueden esperar mejoras como la reducción del Lead time, tiempo transportando y tiempos necesarios para el cambio de una referencia. Para la primera se puede observar que desde esta herramienta se pueden generar diseños más eficientes que logren disminuir el número de actividades internas del paper lead time, physical lead time y transportation lead time. Actividades como el cargue o descargue de mercancías, documentos de autorización, tiempos de alistamiento para cambio de referencia se logran mejorar y disminuir su impacto económico al hacerlas en tiempos cortos logrando un sistema de manufactura económicamente más viable y con mejores tiempos de respuesta a las necesidades del mercado. Para la segunda es necesario entender que el tiempo de transporte está directamente relacionada con las distancias que deben ser recorridas al momento de realizar esta actividad así como la velocidad a la que se transporta todo lo que el sistema requiere para su funcionamiento. De modo que realizar diseños que minimicen las distancias y permitan maximizar la velocidad del transporte lograra tiempos más cortos invertido en una actividad que no agrega valor. Para la última se encuentra que existen tres tiempos críticos que se han definido en tres grandes grupos llamados tiempo de ensayo, tiempo de alistamiento de máquina y tiempo de alistamiento de operario. Estos tres tiempos generen grandes desperdicios para la empresa como materia prima y recursos que finalmente se derivan en un mayor costo para el sistema. Actividades como la búsqueda, calibración y ensayo deben ser reducidos a través de mejores diseños como ubicar las herramientas en lugares con una menor distancia del trabajador y la máquina.

Todas las variables descritas anteriormente se consolidaron en costos en tres variables ejes llamados costo de alistamiento, costo de transportar y costo del nivel de servicio por LT.

5.2.3 Proyecto de implementación de 5´S.

En esta parte del proyecto no se explicará el segmento derecho que se ve en la imagen del modelo de 5´s debido a que este es explicado a través de Control visual.

5´s es una filosofía que se centra en limpieza y orden, mejorando el flujo de proceso a través del rediseño de espacios que se hacen con el tiempo y las mejoras zonas más eficientes. De modo que se encuentra una alta correlación en el uso de 5´s y otras herramientas de Lean, debido a que esta en la mayoría de casos es un paso precedente para la implementación de otras herramientas. Lo más importante en una empresa que busque crecer y mantenerse es conocerse a sí misma para controlar los procesos y finalmente implementar mejoras.

Esta herramienta de Lean permite a las empresas lograr ese acercamiento así mismas para conocerse mejor y propone en un primer paso algunos rediseños que permitirán la implementación de otras filosofías.

Por lo anteriormente dicho se conectaron a 5´s variables críticas que no agregan valor y que pueden ser mejoradas con cambios que en la mayoría de los casos no son complejos. Encontramos como tiempo de búsqueda de materias primas, tiempo de búsqueda de herramientas y distancia de máquinas a herramientas que por medio del orden, la limpieza y el rediseños de su ubicación o el mejoramiento de esta se consiguen disminuir los tiempos en los que el sistema de manufactura está perdiendo competitividad y los recursos se están desperdiciando.

Por otro lado se encuentra que usando la misma filosofía se pueden mejorar los costos de manejar inventario a través de sistemas que utilicen de manera más eficiente la relación entre sus recursos como los montacargas y las estanterías o zonas y equipos para la MP, WIP o PT.

Finalmente se ha descrito a 5´s como herramienta en capacidad de disminuir costos de alistamiento, almacenar WIP, almacenar inventario en planta, almacenar PT, almacenar MP y de no calidad. Lo que indica que los sistemas de manufactura afecta un alto porcentaje de sus costos debido al orden y la limpieza. También indica que 5´s se muestra como una oportunidad de mejora muy interesante para los empresarios.

5.2.4 Proyecto de implementación Celdas de Manufactura.

El diseño de celdas de manufactura desde la filosofía Lean puede ser el proyecto más interesante y que genere mayores retribuciones para un sistema de manufactura. Desde la implementación de celdas se obtienen mejoras en un alto porcentaje de las variables cuantificables y de los costos de un sistema de manufactura, de las cuales se pueden recalcar algunas de mucha importancia para buscar ser competitivos.

VARIABLES COMO EL PHYSICAL LEAD TIME SE VEN BENEFICIADAS CUANDO AL IMPLEMENTAR CELDAS SE DISMINUYEN MUCHOS DE LOS TIEMPOS EN LOS QUE NO SE AGREGA VALOR, SE PUEDE AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN, DISMINUIR EL TAMAÑO DE LOTE FLEXIBILIZANDO A LA DEMANDA, TENIENDO TIEMPOS DE RESPUESTA MÁS RÁPIDOS FRENTE A LA INCERTIDUMBRE DE LA DEMANDA. SE DEBE TENER EN CUENTA QUE EL TAMAÑO DE LOTE PUEDE SER REDUCIDO SI PREVIAMENTE SE HA DESARROLLADO UNA IMPLEMENTACIÓN DE SMED QUE PERMITA MINIMIZAR LOS TIEMPOS DE ALISTAMIENTO.

POR OTRO LADO SE ENCUENTRAN VARIABLES COMO EL TIEMPO DE TRABAJO DE LAS MÁQUINAS Y LOS OPERARIOS QUE PUEDEN SER MEJORADOS DEBIDO A QUE AL COMPARTIR GRUPOS DE FAMILIA SE LOGRA GENERAR MAYORES VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN QUE REQUIEREN EL USO DE LA CELDA, DE TAL FORMA QUE MEJORA LA UTILIZACIÓN DE ESTOS DOS RECURSOS Y DE DISMINUYEN TIEMPOS MUERTOS DE PRODUCCIÓN QUE NO AGREGAN VALOR.

VARIABLES COMO LOS TRABAJADORES REQUERIDOS Y EL ÁREA QUE SE PUEDE LIBERAR, POR LA MEJOR UTILIZACIÓN DEL ESPACIO Y RELACIONES ENTRE MÁQUINAS Y PERSONAL, SON SUSCEPTIBLES DE MEJORAS EN EL LARGO Y CORTO PLAZO. EN OCASIONES LAS EMPRESAS AFECTAN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE MANUFACTURA Y SUS COSTOS DEBIDO A UNA MALA PLANEACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAS REQUERIDAS PARA SATISFACER LA DEMANDA O A LA BAJA UTILIZACIÓN DEL RECURSO HUMANO. LAS CELDAS PERMITEN PLANEACIONES DEL PERSONAL CON MODELOS SENCILLOS Y ESPECIALMENTE MAXIMIZA LA UTILIZACIÓN DEL CAPITAL HUMANO, LO QUE SE TRADUCE EN UNA MENOR INVERSIÓN EN ESTE RECURSO DEBIDO A QUE SE REQUIEREN MENOR NÚMERO DE PERSONAS.

DE LAS VARIABLES ANTERIORMENTE DESCRITAS Y DE ALGUNAS OTRAS SE HAN CONSOLIDADO 7 COSTOS QUE PUEDEN SER ATACADOS DESDE LA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS. POR EJEMPLO EL COSTO DE TRANSPORTAR SE VE AFECTADO AL MODIFICAR EL PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO COSTOS COMO EXCESO DE PERSONAL, MAQUINARIA QUE NO AGREGA VALOR Y CAPITAL HUMANO QUE NO AGREGA VALOR SE VEN REDUCIDOS AL MEJORAR LA UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS Y SU DISPOSICIÓN DENTRO DEL SISTEMA. COSTOS COMO EL DE ALMACENAR WIP MEJORAN AL APLICAR TAMAÑOS DE LOTE MÁS PEQUEÑOS.

5.2.5 Proyecto de implementación JIT.

Para la implementación de proyectos como JIT se deben dar una serie de pasos muy importantes que permitan la implementación de este modelo. A nivel interno el sistema de manufactura debe mejorar su eficiencia y capacidad de respuesta, la demanda debe poder ser satisfecha en periodos cortos y con tamaños de lote pequeños, lo que implica que previo a JIT se hayan implementado otras herramientas. Un sistema de manufactura ineficiente y con un Lead time que no pueda ser considerado bajo, dentro de su industria, no podrá responder a las demandas que exige JIT.

Por otro lado se tiene un nivel externo que también debe ser resuelto para la implementación de JIT, clientes y proveedores deben disponer de sistemas operativos y logísticos que incluyan tiempos cortos de entrega, rápida respuestas a demandas previstas y en especial no previstas, tamaños de lote pequeño, sistemas de manufactura flexibilizados a la demanda (con todo lo que esto implica). En el modelo no se han incluido proveedores y clientes, sin embargo las relaciones acá presentadas describen cómo a nivel interno cada sistema se debe preparar para satisfacer las necesidades externas. La relación entre un sistema y otro deberían apoyarse de un operador logístico especializado capaz de adaptarse al planteamiento interno que las partes dentro de la cadena están desarrollando.

La relación entre partes de la cadena es de carácter obligatorio, hay que tener en cuenta que JIT no es una herramienta individual, esta filosofía no se aplica a una solo parte de la cadena o a algunas partes. JIT se aplica a la cadena en su totalidad, JIT es flujo a través de la Supply Chain. Para lograr esto se deben aplicar métodos colaborativos entre las partes, algunos ejemplos de estos es certificación de proveedores, desarrollo de proveedores, redes de información, control de inventarios desde el proveedor, etc.

Observando el modelo es posible darse cuenta de la incidencia de JIT a lo largo de todo el sistema de manufactura. Desde esta herramienta es posible o en algunos casos necesario asegurar especificaciones que se encuentren en unos límites de funcionamiento específicos de manera que se cumplan con las condiciones descritas anteriormente. Citando algunas relaciones del modelo se encuentra que algunas variables como el proyecto de balanceo de línea deben ser mejoradas para el funcionamiento de JIT, desde el balanceo de línea se disminuye el inventario en cola y se mejora el flujo del proceso. El manejo de los inventarios es mucho más estricto debido a que JIT supone el menor inventario o inventario cero, así que en un sistema de manufactura que esta implementando JIT no es viable pensar en mantener el inventario actual o incluso aumentarlo, se deben buscar métodos como los descritos anteriormente para disminuir estos inventarios.

5.2.6 Proyecto de implementación Jidoka

Jidoka es una herramienta que garantiza una buena calidad del producto y del proceso, utilizando alarmas y sensores para prevenir los errores humanos o de las maquinas. Permite reducir la existencia de productos dañados para ser reprocesados o desechados y evita un mayor consumo de materiales q elevaría el costo del producto. El principal objetivo es buscar una reducción en los errores y fallas.

Las variables que tiene mayor relación con este proyecto son la cantidad de inspecciones, que se pueden reducir usando sensores que indiquen cuando una unidad esta mala y no se requiera de una inspección periódica de los productos por partes de los operarios. Al reducir esta variable también se afectará el tiempo total dedicado a las inspecciones.

Como Jidoka está enfocada a un mejoramiento a la calidad del producto, también logrará disminuir la cantidad de productos reprocesados que a su vez impactará los costos asociados a los reprocesos. Junto con esta herramienta, trabaja poka-joke, que por medio de dispositivos diseñados que ayudan al control de las actividades ayudan a la reducción de unidades defectuosas causadas por errores de los trabajadores. Jidoka y poka joke contribuyen a la disminución de los costos de calidad en gran medida, porque reducen el número de operarios dispuestos para inspecciones, los tiempos de inspecciones, los reprocesos y la cantidad de unidades defectuosas.

5.2.7 Proyecto de implementación de Trabajo Estándar

Con la implementación del proyecto de Trabajo Estándar lo que se busca es poder documentar las formas en que deberían realizarse los procedimientos, procesos y actividades. También se necesita de estar en constante medición del tiempo de las actividades que llevan a cabo para tener un punto de referencia y poder definir variables críticas como la capacidad de producción.

Lo que se busca con documentar las formas en que deberían realizarse los procesos, es reducir las cantidades de unidades defectuosas que se obtienen por malas prácticas empleadas por los trabajadores. Los trabajadores al seguir los pasos necesarios para transformar el producto que se le han sido proporcionados previamente, lograrán disminuir la cantidad de unidades defectuosas y también la cantidad de reprocesos que se puedan generar.

La rotación del inventario afecta los costos debido a que se tiene que capacitar constantemente personal para que aprenda las buenas prácticas para la elaboración del producto. Por esto es que se incluye la variable rotación de personal en el modelo. El tiempo de capacitación también es crucial porque no se agrega valor, pero si se tiene todo documentado se logrará reducir este tiempo puesto que será más fácil de explicar al personal. Cuando se tienen los estándares documentados se le podrá exigir más objetivamente al operario características como calidad y tiempo en realizar determinada cantidad de producto.

5.2.8 Proyecto de implementación Heijunka

Heijunka es una herramienta que consiste en suavizar la producción, mejorando el flujo y produciendo en lotes cada vez más pequeños para lograr reducir desperdicios. Por lo que las variables que van directamente ligada a esta son el tamaño de lote, los trabajadores necesarios para realizar determinada operación, los desperdicios causados por el sistema productivo.

El tamaño de lote me afectará la variable de cantidad de inventario en cola puesto que entre más grande sean los lotes más inventario en proceso se tendrá, teniendo que disponer de más espacio para almacenarlo alterando los costos. Este inventario en proceso aparecerá en mayor cantidad cuando vaya a ser transformado en la máquina mas demorada de todas, por lo que es importante lograr balancear la línea para poder reducir este tipo de desperdicio; precisamente esto es lo que busca el proyecto de implementación Heijunka.

También permite realizar la evaluación de que si la cantidad de operarios que están actualmente haciendo una operación si son los que se necesitan en realidad y no se está subutilizando el capital humano. Esto se hace teniendo en cuenta las capacidades estándares de producción que tienen los operarios y la demanda del producto a realizar. Con esta relación se encuentra la cantidad adecuada de operarios para realizar la operación. Si se están utilizando mas operarios de los necesarios impactaran los costos de mano de obra asociados al producto.

5.2.9 Proyecto de implementación TPM

El proyecto de implementación de TPM va totalmente ligado a las operaciones de mantenimiento que se tienen que realizar a las máquinas que se encuentran en el sistema productivo. Por lo general estos mantenimientos consumen mucho tiempo generando paradas en la producción.

Cualquier tipo de mantenimiento, bien sea preventivo, correctivo o predictivo consumen tiempo que podría ser utilizado en actividades que agregan valor. Pero el tiempo que consume un mantenimiento correctivo por lo general es más largo que uno predictivo, debido que está asociado a daños de piezas en las máquinas y que se pueden demorar varios días en obtener las piezas nuevas. En cambio en el predictivo se tiene un plan ligado a fechas, con los tiempos de duración de las subpartes para realizar las compras de estas con anticipación para así ganarse el tiempo de espera que tardan las piezas como en el correctivo.

Las variables que más se afectan por lo mantenimientos son las de la cantidad de mantenimientos y los tiempos correspondientes a cada mantenimiento que se realice. Estas dos variables son importantes porque tanto la cantidad como el tiempo de un mantenimiento pueden aumentar mucho el tiempo total de mantenimiento.

Por lo tanto el proyecto de implementación de TPM va dirigido a la elaboración de planes y cronogramas de mantenimiento de las máquinas en donde se indiquen todos los tiempos de duración estándar que tienen las piezas, junto con un plan de compra de piezas en los momentos indicados para realizar los mantenimientos. Esto con el fin de disminuir la cantidad de mantenimientos correctivos puesto que pueden generar las demoras más largas para empezar la producción nuevamente.

Estos planes también incidirán en los tiempos de fallas de las máquinas pues lo que se busca que es por medio de estos se mantengan en buenas condiciones las máquinas, y no se generen paradas inoportunas.

Todas las paradas generan tiempos muertos en los que no se puede hacer producto y además obligan a que se dispongan de capital humano en operaciones que no agregan valor. Estos tiempos se tornan en costos para la organización, por lo que se debe trabajar en la reducción de la cantidad de mantenimientos y los tiempos que se tarda cada uno.

5.2.10 Proyecto de implementación Poka-Joke

Este proyecto se explica a través del proyecto de implementación Jidoka.

5.2.11 Proyecto Balanceo de Línea

Los proyectos de implementación de Lean en el modelo de Vensim son descritos como pasos en el tiempo de cumplimiento de un proyecto, es expresado desde

valores porcentuales que muestran hasta qué punto se ha avanzado en el proyecto a través del tiempo. Estos valores porcentuales son los que afectarán las variables que dependen de cada uno de los proyectos.

5.2.12 Proyecto de implementación de Control Visual

Control visual es una herramienta que ayuda a que se realicen de una forma más fácil las inspecciones que se llevan a cabo durante todo el flujo del producto por el sistema de producción. Esta requiere del uso de herramientas que sean de fácil interpretación, para que los operarios puedan ubicar rápidamente algún desperfecto en el producto durante el sistema, fallas en determinada máquina o avisos que indiquen los niveles mínimos o máximos de materiales que se requieren para el funcionamiento correcto de las máquinas. Dentro de estas herramientas se encuentran sensores que activan una alarma luminaria con colores que por lo general tienen el rojo para indicar que se debe atender la operación porque algo no se está haciendo bien o el verde que indica que la operación transcurre de manera correcta.

El control visual también sirve como soporte para realizar las tareas de 5´S. Se utilizan avisos para poder realizar la búsqueda de herramientas necesarias para los alistamientos. Se acondicionan paneles que contengan los contornos de todas las herramientas para lograr reubicarlas de una forma más rápida y organizada cumpliendo con un parámetro que impone 5´S, que es que todo esté en su lugar y que cuando se utilice para algo se debe procurar que vuelva al sitio al que pertenece.

A continuación se describirán las variables que fueron tenidas en cuenta para la realización del modelo del Proyecto de Implementación de Control Visual. Las variables tenidas en cuenta van dirigidas hacia las inspecciones ejecutadas a través del sistema de producción, puesto que son un factor importante que se debe tener bajo un seguimiento continuo para no llegar a tener grandes pérdidas debidas a la elaboración de productos por fuera de los estándares de calidad internos como a los que exigen los clientes y que además pueden llegar a causar reprocesos, generando retrasos en la producción y consumiendo tiempo necesario para cumplir con otros clientes.

Tomando como ejemplo una maquina en la que un operario realice el sellado de bolsas plásticas, esta debe tener un control visual (bombillo), que se encienda en el momento que se le ha aplicado la temperatura y tiempo correcto para realizar un sellado adecuado. Si esta máquina no tuviera esta ayuda visual, todo quedaría a la percepción que tiene el operario y aumentaría la variabilidad en el proceso, haciendo que este tenga que verificar cada unidad para ver si salió el producto de

la manera correcta. Este tiempo que se invierte en inspección es un tiempo que podría ser invertido en la elaboración del producto.

El control visual también es importante para indicar las fallas en las máquinas. Ayuda a que se sepa haciendo productos que deben ser reprocesados o desechados. Es importante el uso de control visual en este tipo de situaciones para poder disminuir la cantidad de productos inconformes. Si no se tuviera un control visual los operarios simplemente no se darían cuenta si está fallando la máquina hasta que el la revise personalmente. Este tiempo de falla es crucial para poder cumplir con la producción.

Estos tiempos que se pierden debido a las inspecciones y a las paradas causadas por fallas en las máquinas se ven reflejados en un costo de no calidad.

5.3 MODELO PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN LEAN

5.3.1 Inversión en activos

En esta tabla se deben incluir todos aquellos activos que serán comprados para la realización de los proyectos de Lean, en la tabla se ven algunos ejemplos. Esto es importante tenerlo en cuenta porque es probable que para el desarrollo de herramientas lean dentro de un sistema de manufactura se deba incurrir en gastos por compra de materiales. Para aclarar esto un poco se puede pensar que al implementar 5's es probable que se deban comprar estanterías para cumplir con la nueva disposición que se harán de las herramientas, equipos, etc (véase el Anexo 1).

5.3.2 Personal

En esta tabla se deben incluir los datos del personal directivo y operativo, así como el salario y prestaciones legales y extralegales que la empresa paga a sus trabajadores. Se deben tener en cuenta algunas restricciones para que una persona sea considerada dentro de la tabla. Solo se ingresarán las personas extras que deban ser contratadas para el desarrollo de los proyectos de Lean. Esto es debido a que la idea de estas tablas es calcular la diferencia económica entre un sistema actual y un sistema futuro desarrollado a través de Lean, por lo que los trabajadores actuales no se deben incluir a pesar que su labor cambie

para ayudar al nuevo sistema, esto debido a que a la empresa le cuesta lo mismo ese trabajador sin importar en que sistema se encuentre.

Si se disminuye el número de trabajadores debido a los rediseños del sistema, esto tampoco se deben incluir en esta tabla debido a que una de las funciones del modelo es hacer este cálculo desde los cotos propuestos para evaluar un sistema de manufactura. Así que este valor será tenido en cuenta en otra tabla (véase el Anexo 2).

5.3.3 Gastos de implementación

Estos son todos aquellos gastos en los que la empresa debe incurrir para facilitar el desarrollo de los proyectos de Lean, se debe tener en cuenta que estos gastos no hacen referencia activos fijos como en la tabla 1.1. Estos gastos hacen referencia a los letreros necesarios para 5's, control visual, consultorías, etc.

La mayoría de estos gastos no se mantienen constantes en el tiempo, inclusive muchos deberían ocurrir una sola vez, sin embargo es importante hacer la diferencia y ser cuidadoso cuando se totalicen los costos por periodos de los gastos (véase el Anexo 3).

5.3.4 Análisis de costos

En esta tabla se describen únicamente los costos fijos y variables que resultan nuevos del desarrollo de los proyectos Lean, si algún costo es nuevo pero surge de reemplazar a uno del sistema manufactura actual, esta ponderación económica debe ser introducida debido a que podría no estar teniéndose en cuenta una disminución de costos.

Los costos fijos y variables acá descritos son en su mayoría la totalización de los costos introducidos en las tablas anteriores, así que se debe tener en cuenta cómo se introducirán las comparaciones descritas en el párrafo anterior (véase el Anexo 4).

5.3.5 Presupuesto de reducciones

En esta tabala se incluyen los costos que arroja el corrido de la simulación de Vensim, tener en cuenta que los periodos en Vensim y excel deben estar escritos en los mismos periodos de tiempo.

Esta tabala es de donde se arrojan los valores que demuestran la viabilidad del proyecto, periodo a periodo se generan reducciones en costo que serán introducidas posteriormente como utilidad en el flujo de caja (véase el Anexo 5).

5.3.6 Estado de resultados

En esta tabla se ingresan las operaciones realizadas y sus costos derivados con el objetivo de ver si se gana o nó periodo a periodo con cada operación realizada (véase el Anexo 6).

5.3.7 Flujo de caja

El flujo de caja indica el valor monetario con el que la empresa puede contar para realizar cualquier tipo de inversión y saber su liquidez. Tiene en cuenta el dinero disponible al inicio, sumado con los ahorros generados por las reducciones en los costos. Al total disponible se le debe restar las inversiones y los costos generados en cada periodo para obtener el disponible en dinero final (véase el Anexo 7).

5.3.8 Flujo de caja neto

Es el dinero recibido teniendo en consideración los gastos en inversión de capital que beneficiarán el negocio a futuro. En el flujo de caja neto se debe tener en cuenta que la utilidad neta, es el ahorro que se ha generado por la reducción de los costos debido a las implementaciones de Lean Manufacturing. También se tienen que incluir todas las inversiones que se realizaron para adquirir todo tipo de equipos y elementos para llevar a cabo las implementaciones. Se debe tener en cuenta para los cálculos, el valor económico de la empresa para incluirlo en el flujo de caja neto.

Al flujo de caja neto resultante se le debe hallar el VPN y la TIR para evaluar la viabilidad del proyecto. Adicionalmente es importante conocer el periodo en que se recuperará la inversión efectuada (véase el Anexo 8).

BIBLIOGRAFÍA

BISWAS, Pablo; SARKER, Bhaba R.. Optimal batch quantity models for a lean production system with in-cycle rework and scrap, International Journal of Production Research, Dec2008, Vol. 46 Issue 23, p6585-6610, 26p, 1 Diagram, 3 Charts, 8 Graphs.

BLACK, J. T.. Chapter 16: Lean Manufacturing implementation. Innovations in Competitive Manufacturing, 2002, p177-186, 10p

MCCARTHY, Dennis; RICH, Nick, Lean TPM A Blueprint for Change Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803 First published 2004

HIROYUKI, Hirano, The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing Second Edition, Originally published as Jyasuto in taimu seisan kakumei shido manyuaru copyright © 1989 by JIT Management Laboratory Company, Ltd., Tokyo, Japan. English translation copyright © 1990, 2009 Productivity Press.

HOSHIN Kanri, The Strategic Approach to Continuous Improvement. David Hutchins Published by Gower Publishing Limited.

Manufacturing: Design, Production, Automation, and Integration Beno Benhabib, University of Toronto, Ontario, Canada.

MCDONALD, Thomas; ELLIS, Kimberly P.; VAN AKEN, Eileen M.; PATRICK KOELLING, C.. Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. International Journal of Production Research, May2009, Vol. 47 Issue 9, p2427-2447, 21p, 1 Diagram, 6 Charts.

MCWILLIAMS, Douglas L.; TETTEH, Edem G.. Managing lean DRC systems with demand uncertainty: an analytical approach. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Dec2009, Vol. 45 Issue 9/10, p1017-1032, 16p, 3 Diagrams, 7 Charts, 5 Graphs

MODARRESS, B.; AANSARI, A.; LOCKWOOD, D. L.. Kaizen costing for lean manufacturing: a case study. International Journal of Production Research, 5/1/2005, Vol. 43 Issue 9, p1751-1760, 10p, 2 Diagrams, 1 Chart, 1 Graph

MONDEN, Y. (1998). Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time. Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.

NDAHI, Hassan B.. Lean Manufacturing in a Global and Competitive Market. Technology Teacher, Nov2006, Vol. 66 Issue 3, p14-18, 5p

OHNO, T., (1988), Toyota Production System, Productivity Press, Portland, OR.

THOMAS L. Jackson, Editor. 5S for Healthcare, 2009 Rona Consulting Group & Productivity Press.

UPAHYE, Nitin; DESHMUKH, S. G.; GARG, Suresh. 11. Academic Journal, Key Issues for the implementation of Lean Manufacturing System Global Business & Management Research, 2009, Vol. 1 Issue 3/4, p57-68, 12p, 1 Diagram, 5 Charts, 4 Graphs.

WILLIAM M. Feld Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them, Lean Manufacturing Consultant, Saint Peters, Missouri.

Dennis McCarthy and Dr Nick Rich, Lean TPM A Blueprint for Change Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803 First published 2004

ANEXO 1

Equipo	Costo/unidad	Unidades	Costo total	Tiempo de depreciación	Periodo	DEPRECIACIÓN (tener en cuenta el tipo de depreciación)						Depre. acumu.	
						1	2	3	4	5	6		
Hornos													
Molinos													
Mesas de trabajo													
Bandejas													
TOTAL INVERSIÓN			<i>Suma de los costos</i>	TOTAL		<i>Suma de la depreciación por periodo</i>						<i>Depreciación acumulada por activo</i>	
				DEPRECIACIÓN ACUM.		<i>Acumular depreciación hasta el periodo de referencia</i>							

EJEMPLOS

ANEXO 2

	SALARIO	VALOR HORA	8%	DEDUCCIONES SALARIO	AUXILIO DE TRANSPORTE	CESANTÍAS	12%	INTERESES A LA CESANTÍAS	PRIMA DE SERVICIOS	VACACIONES	2.5%	ASP	2%	SENA	3%	ICBF	4%	Caja de compensación familiar	8.5%	SALUD	12%	PENSIONES
Personal directivo	Nombre																					
Personal operativo	Nombre																					

PRESUPUESTO PERSONAL	PERIODO	1	2	3	4	5	6
Valor Nómina Per. Direc.							
Valor Nómina Per. Oper.							
Total nómina							

Promedio nómina mensual	TOTAL
--------------------------------	--------------

ANEXO 3

EJEMPLOS

Periodo	1	2	3	4	5	6
Gastos de publicidad						
Gastos de papelería						
Gastos asesoría jurídica						
Gastos consultoría						
Tener en cuenta gastos necesarios para la implementación						
Total Gastos para implementación						

ANEXO 4

	PERIODO	1	2	3	4	5	6
EJEMPLOS	COSTOS FIJOS						
		Mano de obra					
		Depreciación equipos					
		Asesoría jurídica					
		Gastos papelería					
		Estos son ejemplos, adaptar a la empresa					
	TOTAL COSTOS FIJOS						
EJEMPLOS	COSTOS VARIABLES						
		Materia Prima extras necesarias(Sin iva)					
		Gasto Publicidad					
		Estos son ejemplos, adaptar a la empresa					
	TOTAL COSTOS VARIABLES						
	COSTO TOTAL						
	Punto de equilibrio						
	Colchón de efectivo						

ANEXO 5

PRESUPUESTO DE REDUCCIONES	PERIODO	0	1	2	3	4	5	6
Costo de Alistamiento								
Costo de transportar								
Costo de nivel de servicio por LT								
Costo de faltantes								
Costo de capital humano no agregando valor								
Costo de Mq no agregando valor								
Costo de almacenar WIP								
Costo de almacenar Inv. En planta								
Costo de almacenar PT								
Costo de almacenar MP								
Costo de no calidad								
Costo de capacitación								
Costo de desperdicio								
Costo de mantenimiento								
Costo de reprocesos								
Costo por exceso de personal								
REDUCCIÓN EN COSTOS								
								Sumatoria de diferencias periodo a periodo

Se evalua la diferencia entre el costo del periodo actual respecto del anterior, esto se considera una ganacia si el valor es mayor a cero

ANEXO 6

Cuadro de estado de resultados

ESTADO DE RESULTADOS	PERIODO	1	2	3	4	5	6
EJEMPLOS Presupuesto Ingresos Costo MP(extra) Costo de mano de obra(extra)							

Utilidad Periodo

ANEXO 7

Cuadro de flujo de caja		PERIODO	0	1	2	3	4	5	6
	CAJA INICIAL								
	mas: REDUCCIÓN EN COSTOS								
	DEPRECIACION								
	TOTAL DISPONIBLE								
	Menos : INVERSION EN ACTIVOS FIJOS								
	Menos: COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES								
	Salarios								
	Gastos Publicidad								
	Asesoría Jurídica								
	Gastos Papelería								
EJEMPLOS	Menos: EGRESOS POR PAGO DE IMPUESTOS								
	TOTAL EGRESOS								
	NETO DISPONIBLE								
	Mas: Aporte Socios								
	Distribucion de Excedentes								
	CAJA FINAL								

ANEXO 8

Flujo de caja neto	PERIODO	0	1	2	3	4	5	6
Utilidad neta								
Depreciación								
1. Flujo de fondos neto del período								
Inversiones en activos fijos								
Colchón de efectivo								
Préstamo								
2. Inversiones netas del período								
3. Liquidación del negocio								
4. Flujos de caja totalmente netos								
Tasa de descuento WAAC								
VPN								
TIR								
Periodo de recuperación								
4. Flujos de caja totalmente netos								
VPN								
Flujos de caja acumulados								