



UNIVERSIDAD
ICESI

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE LA LINEA DE
PRODUCCIÓN M PARA LA EMPRESA JKL**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Magister en Ingeniería Industrial**

OSCAR ALBERTO LÓPEZ JARAMILLO

NICOLAS MURCIA GARCÉS

DIRECTOR

MSc. Ingeniería Industrial JAIRO GUERRERO

UNIVERSIDAD ICESI

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2014

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE LA LINEA
PRODUCCIÓN M PARA LA EMPRESA JKL**

OSCAR ALBERTO LÓPEZ JARAMILLO

NICOLAS MURCIA GARCÉS

Trabajo de grado para optar el título de Maestría en Ingeniería Industrial

DIRECTOR

MSc. Ingeniería Industrial JAIRO GUERRERO

UNIVERSIDAD ICESI

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2014

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISPONIBILIDAD EN LA LINEA DE PRODUCCIÓN	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO	16
4. MARCO DE REFERENCIA	17
4.1 ANTECEDENTES.....	17
4.2 MARCO TEÓRICO.....	18
4.2.1 Descripción del producto-proceso.. ..	18
4.2.2 Definición del OEE para la empresa VK.	
4.2.3 Herramientas y metodologías para el desarrollo del trabajo.	21
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	30
5.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCION M	30
5.1.1 Clasificación de las referencias fabricadas en el año 2013 de acuerdo al volumen producido.	30
5.1.2 Estudio de tiempos de utilización para la línea de producción	31
5.1.3 Elaboración Del VSM (Value Stream Mapping)	35
5.1.4 Análisis de los VSM.....	40
5.2 IDENTIFICACION DE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA Y GENERACION DE LAS PROPUESTAS.....	41
5.2.1 Identificar la restricción del sistema.	41
5.2.2 Decidir cómo explotar las restricciones del sistema.	41

5.2.3 Subordinar todo lo demás a la restricción	48
5.2.4 Elevar la restricción.....	48
5.2.5 Nueva restricción.....	48
5.3 VALIDACION DEL IMPACTO DE LAS PROPUESTAS UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACION.....	49
5.3.1 Construcción del modelo	49
5.3.2 Definición de las distribuciones de probabilidad.....	50
5.3.3 Definición del tamaño de lote a simular..	57
5.3.4 Definición del numero de replicas.	57
5.3.5 Validación del modelo.....	59
5.4 Validación de las propuestas.....	60
5.4.1 SMED.....	60
5.4.2 Utilización de otra máquina para realizar los núcleos..	60
5.4.3 Reubicación de la máquina No.3 hacia la planta B.	61
5.4.4 Aplicación del SMED mas la utilización de otra máquina para la fabricación de los núcleos.....	61
6. CONCLUSIONES.....	65
7. RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores actuales en porcentaje de los componentes del indicador OEE .	13
Tabla 2. Etapas en el proceso de preparación	26
Tabla 3. Resumen del tiempo ocupado en cada actividad para cada máquina en porcentaje para el año 2013	35
Tabla 4. Cantidad fabricada, frecuencia de fabricación y procesos involucrados para 17 referencias del producto M	36
Tabla 5. Resumen de datos del VSM	40
Tabla 6. Resumen de actividades internas, externas y los tiempos asociados del estudio inicial	43
Tabla 7. Resumen de actividades internas, externas y los tiempos asociados después de la propuesta de mejoramiento	46
Tabla 8. Resumen de los VSM futuros (aplicando las propuestas de mejora del SMED en la máquina No.3 y la utilización de la máquina 3A para la fabricación de los núcleos)	48
Tabla 9. Datos de las distribuciones normales de los tiempos de preparación de las maquinas de la línea de producción M durante la fabricación de la referencia liviana.	54
Tabla 10. Datos de las distribuciones normales de los tiempos de preparación de las maquinas de la línea de producción M durante la fabricación de la referencia pesada.....	55
Tabla 11. Tiempos de incidencia de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia pesada para el año 2013, divididos en cuartiles.....	56
Tabla 12. Tiempos de avería de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia pesada para el año 2013, divididos en cuartiles.....	56

Tabla 13. Tiempos de incidencia de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia liviana para el año 2013, divididos en cuartiles.....	56
Tabla 14. Tiempos de avería de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia liviana para el año 2013, divididos en cuartiles.....	57
Tabla 15. Comparación entre los intervalos de confianza del tiempo de ciclo arrojado por la simulación para las dos referencias contra el tiempo del ciclo real para un lote de tamaño.....	59
Tabla 16. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de aplicar SMED tanto para la referencia liviana como para la pesada.....	60
Tabla 17. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de habilitar una segunda máquina para la fabricación de los núcleos tanto para la referencia liviana como para la pesada.....	61
Tabla 18. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de reubicar la máquina No.3 en la planta B tanto para la referencia liviana como para la pesada.....	61
Tabla 19. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de aplicar el SMED y utilizar la segunda máquina para la fabricación de los núcleos tanto para la referencia liviana como para la pesada.....	62
Tabla 20. Comparación de tiempos de ciclo entre los distintos escenarios simulados para la fabricación de la referencia pesada.....	62
Tabla 21. Comparación de tiempos de ciclo entre los distintos escenarios simulados para la fabricación de la referencia pesada.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Distribución del tiempo de acuerdo al indicador OEE	19
Gráfico 2. Posición y alcance de ingeniería de métodos	24
Gráfico 3. Etapas conceptuales para el mejoramiento de las preparaciones	27
Gráfico 4. Pareto de cantidad de unidades fabricadas del producto M por referencia año 2013.....	31
Gráfico 5. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 1 año 2013.....	32
Gráfico 6. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 2 año 2013.....	33
Gráfico 7. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 3 año 2013.....	33
Gráfico 8. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 4 año 2013.....	34
Gráfico 9. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 4A año 2013	34
Gráfico 10. Pareto de frecuencia de fabricación de las referencias de la familia del producto M año 2013	36
Gráfico 11. Distribución de tiempos entre las múltiples actividades clasificadas como preparación	42
Gráfico 12. Distribución de tiempos entre las múltiples actividades clasificadas como incidencia	47
Gráfico 13. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.1 para la fabricación de la referencia liviana.....	50
Gráfico 14. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.2 para la fabricación de la referencia liviana.....	51

Gráfico 15. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.3 para la fabricación de la referencia liviana.....	51
Gráfico 16. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.4 para la fabricación de la referencia liviana.....	52
Gráfico 17. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.1 para la fabricación de la referencia pesada	52
Gráfico 18. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No. 2 para la fabricación de la referencia pesada	53
Gráfico 19. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No. 3 para la fabricación de la referencia pesada	53
Gráfico 20. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.3 para la fabricación de la referencia pesada	54

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso con la descripción de cada etapa	70
Anexo 2. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.1 para la fabricación de la referencia liviana.	71
Anexo 3. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia liviana.	72
Anexo 4. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.3 para la fabricación de la referencia liviana.	73
Anexo 5. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.4 para la fabricación de la referencia liviana.	74
Anexo 6. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.1 para la fabricación de la referencia pesada.....	75
Anexo 7. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia pesada.....	76
Anexo 8. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia pesada.....	77
Anexo 9. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.4 para la fabricación de la referencia pesada.....	78
Anexo 10. Layout de la línea M.....	79
Anexo 11. Resumen de actividades de preparación de la maquina No 3.....	80
Anexo 12. Comparativo de tiempos de ciclo contra tamaño de lote para cada una de las propuestas en la fabricación de la referencia pesada.....	83
Anexo 13. Comparativo de tiempos de ciclo contra tamaño de lote para cada una de las propuestas en la fabricación de la referencia liviana	83

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 VSM del proceso de fabricación de la referencia liviana	39
Figura 2 VSM del proceso de fabricación de la referencia pesada.....	39
Figura 3. VSM del estado futuro de la línea para la fabricación de la referencia liviana, implementando el SMED en la máquina No.3 y utilizando la máquina 3A para la fabricación de los núcleos.	63
Figura 4. VSM del estado futuro de la línea para la fabricación de la referencia pesada, implementando el SMED en la máquina No 3 y utilizando la máquina 3A para la fabricación de los núcleos.	64

INTRODUCCIÓN

La empresa JKL (perteneciente al grupo ABC), produce en una de sus líneas el producto M, el cual tiene una demanda que según pronósticos del departamento de ventas, superara en los próximos años (2014-2015) su capacidad actual de producción. Esto implica para la compañía invertir o bien sea en planes de mejora para el aumento de la eficiencia de la línea o invertir en nueva maquinaria para tener más capacidad de producción.

Utilizando los datos obtenidos del sistema de información de JKL para el año 2013 y con el objetivo de identificar los recursos que sean restricción en la línea se hará un estudio de los tiempos empleados en cada actividad de producción para cada una de las máquinas que la componen. Una vez identificados estos cuellos de botella, se plantearán propuestas de mejora que puedan impactar en la disminución de su tiempo de ciclo y por ende en el de la línea aumentando la disponibilidad de la misma.

Finalmente con el fin de validar el impacto de las mejoras propuestas se construirá un modelo de simulación con el cual se pueda verificar la efectividad de cada una de las propuestas planteadas y el impacto que estas tendrían en la disminución del tiempo de ciclo de la línea.

Se espera que los resultados obtenidos en este trabajo sirvan como base para la creación de una metodología para la mejora de líneas de producción similares en la empresa JKL.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISPONIBILIDAD EN LA LINEA DE PRODUCCIÓN

JKL es una empresa reconocida del sector de manufactura de productos para la construcción; con más de cincuenta años de existencia se había logrado consolidar en el mercado nacional manteniendo el liderazgo del sector, beneficiada principalmente por no tener una competencia fuerte en el mercado doméstico.

En los últimos años han ingresado nuevos actores que son líderes del sector a nivel mundial, amenazando la permanencia y liderazgo de la empresa en el mercado. A finales del 2011 JKL es adquirida por el grupo ABC de origen extranjero que posee varias unidades de negocio siendo la principal o más reconocida VK, uno de los competidores más fuertes de JKL.

ABC¹ utiliza como indicador de la eficiencia en las máquinas el OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) que se calcula de la siguiente forma:

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

La disponibilidad indica qué tanto del tiempo programado, la máquina ha estado lista para producir. Se considera el rubro más crítico y es afectado por las preparaciones e incidencias (ejemplo averías). El rendimiento hace referencia a la capacidad para producir de la máquina (producto por unidad de tiempo) que está siendo utilizada y la calidad es al porcentaje de productos que fueron fabricados y cumplieron con todas las especificaciones.

Para el presente trabajo se estudiará la línea de producción M, la cual consta de cuatro procesos denominados T, C, E Y R, teniendo al menos una máquina asignada para cada uno de estos.

A continuación se presentan los valores de estos indicadores (Tabla No.1) tanto para cada máquina que compone la línea de producción M, como el consolidado de la línea, desglosándolo en sus componentes de disponibilidad (a su vez desglosado en porcentajes de preparación e incidencias) rendimiento y calidad.

Se presenta además el valor de las metas planteadas por el grupo ABC para el año 2014 definiendo un valor mínimo, el cual indica que al menos se debe cumplir con el valor obtenido del año 2013, un valor meta (lo que se espera que mejore) y una meta extra que se interpreta como el mejor valor que se esperaría tener en la línea para el próximo año.

¹ ABC es el grupo multinacional al cual desde el año 2012 pertenece JKL

Tabla 1. Valores actuales en porcentaje de los componentes del indicador OEE

Máquina	Proceso	OEE 2013	Calidad	Producción	Preparación	Incidencias	Rendimiento	Mínimo	Meta	Extra.
Línea De Producción M		41%	100%	55%	28%	17%	75%	41%	47%	53%
1	T	38%	100%	58%	13%	28%	66%	38%	44%	50%
2	C	43%	100%	52%	23%	24%	84%	43%	50%	56%
3	E	55%	100%	68%	22%	10%	81%	55%	63%	71%
4A	R	32%	100%	47%	41%	12%	70%	32%	37%	42%
4B	R	27%	100%	47%	38%	15%	57%	27%	31%	34%

Fuente: Departamento de Producción Empresa JKL

Se observa que la línea de producción tiene un OEE actual del 40.9% con un incremento planteado para el próximo año del 15% para una meta del 47% y un aumento máximo esperado del 29% para un OEE de 53.1%. Si bien estas metas pueden parecer ambiciosas, todavía son muy bajas si se comparan con los estándares de clase mundial. Esto quiere decir que aún hay mucho por mejorar o visto de otra forma, la línea está en una etapa muy temprana de implementación de un proceso continuo de mejoramiento.

Se observa que no se tienen problemas con la calidad, las oportunidades de mejora están en el rendimiento y en la disponibilidad. Las herramientas que se plantearán en este trabajo tenderán a aumentar únicamente el indicador de disponibilidad ya que es en este campo donde tienen mas aplicación las herramientas que se desean implementar. El rendimiento, actualmente en JKL está enfocado en aumentar la velocidad de las máquinas para llevarlas hasta su velocidad nominal de trabajo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad actual de las máquinas que componen la línea M está impactando negativamente su indicador global de eficiencia, esto genera el problema de que no se está aprovechando su capacidad, de acuerdo a los estándares requeridos por la organización; además de afectar su capacidad para responder ante la creciente demanda del producto.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta que contribuya a mejorar la disponibilidad de la línea M

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual de los procesos de la línea T,C,E,R.
- Determinar el (los) procesos críticos de la línea de producción y priorizar las fuentes de pérdidas de capacidad.
- Proponer mejoras para el(los) procesos críticos identificados y control de las fuentes de pérdida de capacidad

3. ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO

Como se mencionó anteriormente, los productos de la línea M tienen un crecimiento constante de la demanda, que de continuar así, en algunos años superará la capacidad (dada la demanda actual) de la línea. Esto supondría entonces para la empresa, aumentar la capacidad bien sea comprando nueva maquinaria o mejorando la productividad. Por lo tanto desde el punto de vista económico es justificable para la empresa implementar planes de mejoramiento que impacten en la eficiencia de la línea.

En el presente trabajo se pretende realizar un estudio de la situación actual (en términos de eficiencia) de la línea de producción M, con el fin de identificar oportunidades de mejora para así escoger y proponer la aplicación de herramientas (de distintas metodologías) que puedan generar un impacto positivo en la disponibilidad de la línea y por ende en su eficiencia.

Este proyecto se limitará solo a presentar los resultados del estado actual de la línea y basados en este presentar la propuesta para la aplicación de herramientas de mejora.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

Al revisar la literatura se encuentran varios casos en los que se aplican herramientas de mejora (especialmente de Lean Manufacturing) en empresas de varios sectores; siempre apuntando a la optimización de los procesos que finalmente impacta en la disponibilidad de las máquinas. Se encuentran cuatro trabajos de grado con aplicaciones similares:

1. En su trabajo de grado, Godoy y Mercado proponen el aumento de la disponibilidad en una máquina aplicando la metodología de RCM (Reliability Centered Maintenance) apuntando a mejorar el componente del indicador de disponibilidad, correspondiente a las paradas por mantenimiento. Planteando una reducción (para este componente) de hasta un 50% si se aplica la metodología propuesta (Godoy Garzon & Mercado Gomez, 2011).
2. Gomez y Angulo plantean la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing para la mejora del proceso de gestión de operaciones de La Zona Franca del Pacifico, mostrando que este tipo de herramientas pueden aplicarse también a los departamentos de servicios (Angulo Soto & Gomez Schouben, 2012).
3. Valencia y Quijano proponen la aplicación de conceptos de Lean Manufacturing y de Estudio de Tiempos y Movimientos para la mejora de la productividad de la empresa IDM. En este caso en particular, las herramientas pudieron aplicarse obteniendo mejoras significativas en la productividad (Valencia & Quijano Galvis, 2012).
4. Cruz y Burbano proponen cuatro planes (5S, Trabajo Estandarizado, TPM, Balanceo de Línea y Sistema Pull), para el desarrollo de Lean Manufacturing en la empresa XYZ y así mejorar su sistema de producción (Cruz Ochoa & Burbano Lopez, 2012)

En general, el proceso de desarrollo estos cuatro proyectos de mejora es muy similar, teniendo los siguientes elementos comunes:

1. Recopilación de la información
2. Estudio de tiempos
3. Descripción del estado actual de la línea o servicio
4. Escogencia de la mejor herramienta de mejora para cada caso
5. Planteamiento del estado futuro de la línea (o servicio)
6. Propuestas y recomendaciones

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Descripción del producto-proceso. Al principio de la línea se ingresa materia prima al proceso T, el cual la transforma (reduce el diámetro dependiendo de las especificaciones) en producto semielaborado que entrega al proceso C donde se reúnen en capas para formar un núcleo; el número de capas depende del tipo de familia a la que pertenezca la referencia, que en caso de ser pesada se agregan 19 capas y si es liviana solo se agregan siete.

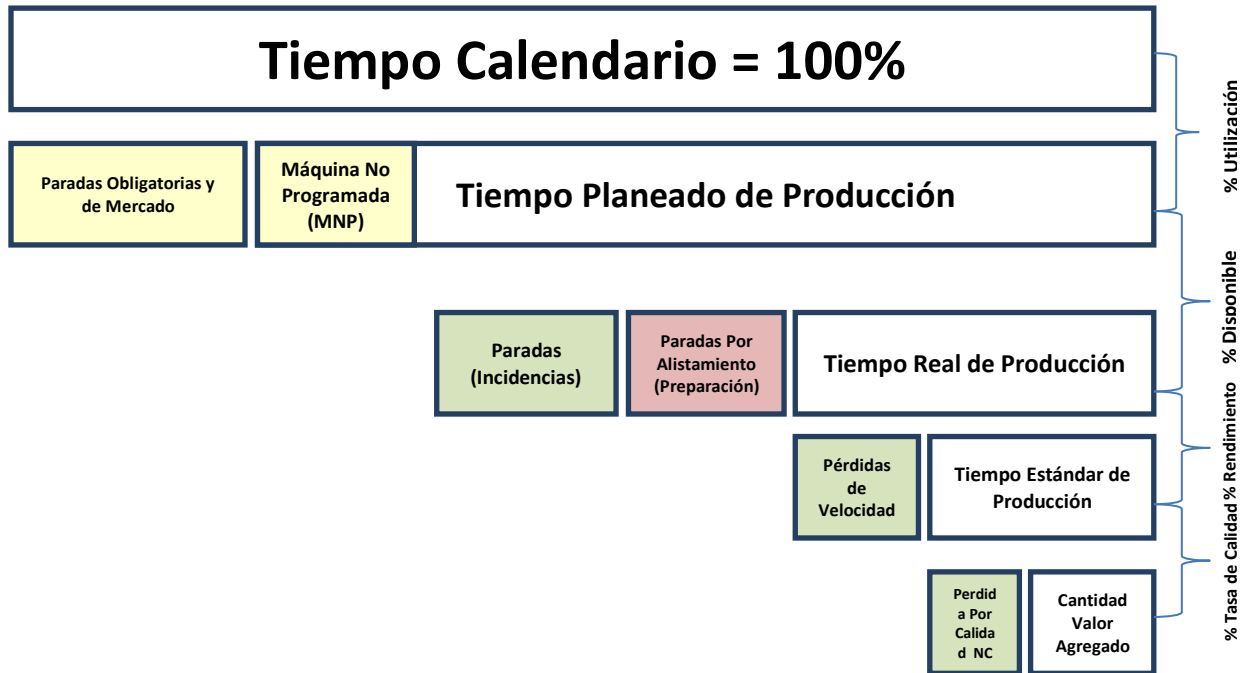
Una vez el núcleo esté terminado se entrega al proceso E donde se le agrega una capa de material para protección, entregando finalmente el producto semielaborado E.

El producto M consta de un núcleo de producto semielaborado E, al cual se le agregan capas del mismo producto semielaborado E pero con especificaciones diferentes (ejemplo: menor diámetro o diferente color). Una vez que el proceso E ha terminado de recubrir todas las capas del producto M (incluyendo el núcleo) estas se pasan al proceso R donde se juntan para generar el producto terminado final.

Para mayores referencias ver el diagrama de flujo de proceso en el Anexo1.

4.2.2 Definición del OEE para la empresa JKL. El OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) es un indicador que permite determinar qué tan eficientemente es utilizada una máquina (o una línea de producción) en términos de su rendimiento, calidad y disponibilidad, permitiendo indicar dónde se encuentran las mayores oportunidades de mejora. Para calcularlo se utiliza como base el tiempo de producción programado de la línea, es decir, cuánto del tiempo calendario se requiere que la máquina esté produciendo para satisfacer la demanda del producto. **(Departamento del control de la producción, 2013)**

Gráfico 1. Distribución del tiempo de acuerdo al indicador OEE



Fuente: Departamento de Control de la Producción JKL

A continuación se describen cada uno de los componentes del OEE y la forma en que se calculan:

- Porcentaje de Disponibilidad

Se entiende como el tiempo que la máquina estuvo realmente produciendo contra el tiempo que estaba programado para producir:

$$\%D = \frac{T_{Produccion}}{T_{Programado}} * 100\%$$

El tiempo de producción real difiere del programado por los tiempos utilizados para las actividades de mantenimiento preventivo y preparación (alistamiento), además de los tiempos perdidos por las incidencias (paradas de la máquina no planeada) entre las que se cuentan: averías (eléctricas y mecánicas), falta de operario (ausentismo), falta de materia prima, etc. (Departamento del control de la producción, 2013)

- **Porcentaje de Rendimiento**

Este indicador mide la diferencia entre la velocidad estándar de producción contra la real (medida en unidades producidas por unidad de tiempo), también puede medirse como el tiempo tomado para fabricar un producto contra el tiempo estándar estimado. Por lo tanto se utilizan las siguientes formulas (Departamento del control de la produccion, 2013):

$$\%R = \frac{Velocidadreal}{Velocidadestandar} * 100$$

$$\%R = \frac{\frac{Qproducida}{Tproduccionreal}}{\frac{Qproducida}{Tproduccionestandar}} * 100$$

$$\%R = \frac{Tproduccionestandar}{Tproduccionreal} * 100$$

Como se puede observar a este indicador lo impacta directamente el aumento de velocidad en la máquina, la mejora de este es un tema de la ingeniería de procesos.

- **Porcentaje de Calidad**

Este indicador mide la cantidad de productos que salieron con algún tipo de defecto (y no pueden entregarse al cliente), contra el total de productos producidos. Se calcula de la siguiente manera:

$$\%C = \left(1 - \frac{Totaldeunidadesnoconformes}{Totaldeunidades}\right) * 100$$

Finalmente el OEE se calcula de la siguiente forma (Departamento del control de la produccion, 2013):

$$\%OEE = \%Calidad * \%Rendimiento * \%Disponibilidad$$

Se define entonces los siguientes valores para el OEE:

OEE<65%	Valor inaceptable, se producen importantes pérdidas económicas
65% < OEE < 75%	Aceptable solo si se está en proceso de mejora
75%<OEE<85%	Aceptable pero debe seguirse con el mejoramiento continuo hasta obtener los niveles de clase mundial
85<OEE<95%	Buen nivel, dentro de los rangos de clase mundial
OEE>95%	Valor de excelencia

4.2.3 Herramientas y metodologías para el desarrollo del trabajo.

4.2.3.1 Lean Manufacturing. Esta metodología de trabajo está basada en el sistema de producción de Toyota conocido como TPS (Toyota Production System) que busca la eliminación del desperdicio, al determinar qué actividades agregan y cuáles no valor al producto, entendiéndose este como lo que el cliente estaría dispuesto a pagar por el bien adquirido. *(Liker, The Toyota way, 2004)*

Se clasifica todo lo que no agrega valor o es desperdicio en siete mudas²:

1. Sobreproducción: producir ítems para los cuales no existen órdenes.
2. Esperas: tiempos perdidos por las personas y equipos mientras se espera a que algo ocurra (la llegada de materia prima, la finalización de un proceso, la subida de una temperatura, etc.)
3. Transporte innecesario: cuando un material requiere desplazarse grandes distancias para continuar con la siguiente etapa del proceso.
4. Sobreprocesamiento: puede ocurrir por dos razones, la primera que se le agregue al producto más de lo que el cliente esté dispuesto a pagar o cuando se agregan más pasos de los necesarios para la manufactura de un producto.
5. Exceso de inventario.

²Cualquier actividad humana que absorba recursos pero no crea ningún valor (Womack & Jones, 2003)

6. Movimientos innecesarios: cualquier movimiento que realicen las personas que no sea necesario para la elaboración del producto.

7. Defectos.

Womack y Jones, definen los pasos requeridos para la implementación de Lean Manufacturing de la siguiente forma (Womack & Jones, 2003):

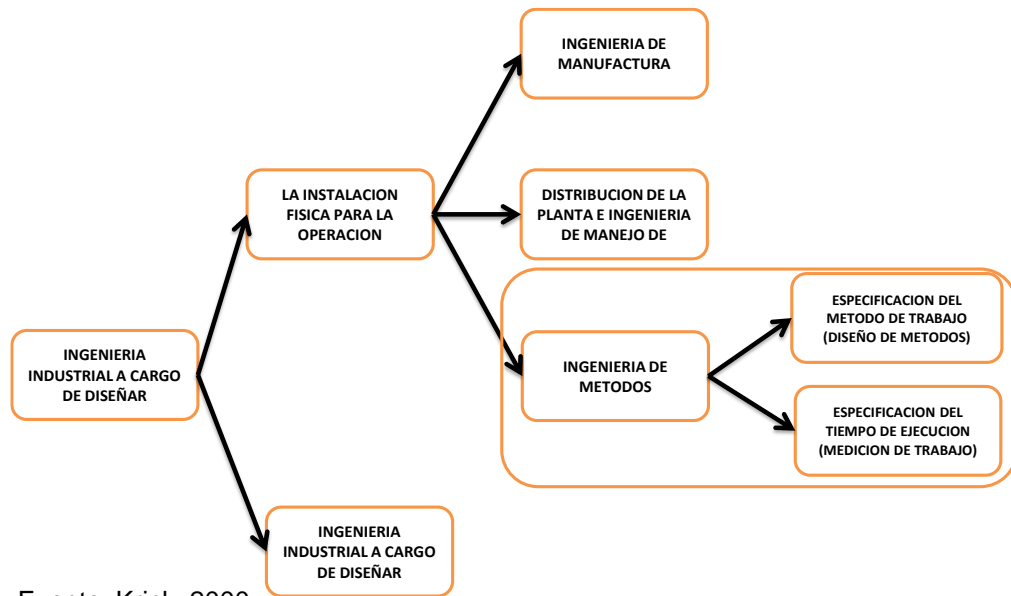
1. Especificar valor desde el punto de vista de lo que concretamente el cliente quiere y está dispuesto a pagar.
2. Identificar la cadena de valor: es el conjunto de acciones requeridas para la elaboración de un producto. El determinar correctamente esta cadena permite identificar las oportunidades de mejora (donde se encuentran las mayores mudas) de ahí se establece qué herramientas de mejoramiento deben aplicarse como el SMED (**S**ingle **M**inute **E**xchange **D**ie) el cual al aplicarse efectivamente ha mostrado reducciones en los tiempos de preparación entre un 85 y un 95 por ciento (Shingo, A study of the Toyota production system, 1979) y el Kanban que asegura y maneja la producción justo a tiempo, el cual es una forma sencilla de comunicación (muchas veces un simple pedazo de papel) que es entregada por cada proceso al proceso anterior para indicar qué cantidad exacta de partes se deben producir o ensamblar (Ohno, Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, 1988).
3. Garantizar el flujo continuo, es decir, que el producto fluya continuamente a través de todas las actividades relacionadas para su fabricación, con el fin de evitar el sistema tradicional de fabricación por lotes donde se tiende a acumular inventario y otras mudas.
4. Tener un sistema PULL, que significa, producir de acuerdo a la demanda, que sea el cliente final el que “jale” la cantidad de producto a fabricar.
5. Finalmente llegar a la perfección: al especificar la cadena de valor y eliminar las mudas, garantizando el flujo, fabricando solo lo que el cliente pide en la cantidad que se pide, gradualmente se llegará a la “perfección” en la manufactura del producto.

4.2.3.2 Ingeniería de Métodos y Tiempos (KRICK, 2000). La Ingeniería de Métodos y Tiempos se refiere principalmente a la aplicación de métodos analíticos, principios de las ciencias físicas y sociales Al problema de convertir nuestras materias primas y otros recursos en formas que satisfagan las necesidades de la humanidad.

La Ingeniería de Métodos se ocupa de la integración del ser humano dentro del proceso de producción. También puede describirse como el diseño del proceso productivo en lo que se refiere al ser humano. La tarea consiste en decidir dónde encaja el ser humano en el proceso de convertir materias primas en producto terminado y en decidir cómo puede el hombre desempeñar más efectivamente las tareas que se le asignan. Como una ilustración, considérese el ensamble de tubos electrónicos. Primero, debe decidirse la función del operador humano dentro del proceso de ensamble. Segundo, el Ingeniero de Métodos deberá especificar el método de trabajo que deberá seguir el ensamblador, la distribución de las herramientas, materiales y equipos en la estación de trabajo y el equipo (herramientas, controles, etc.) con el que el trabajador estará asociado. Cosa semejante deberá hacer con respecto al papel del hombre en las operaciones de maquinado, donde su mayor interés es la naturaleza y localización de los controles y el procedimiento de operación; lo mismo hará con respecto a la inspección, empaclado, manejo de materiales, mantenimiento, reparación, trabajo de oficina, limpieza y muchas otras operaciones donde interviene el ser humano. Además, el Ingeniero de Métodos tiene que ver con operaciones que cubren un amplio límite de tiempos de ejecución, volúmenes, grados de mecanización, niveles de habilidad, tipos de condiciones de trabajo y grados de repetición.

El punto de vista de la Ingeniería de Métodos que aquí se recomienda, considera el papel del hombre en cualquier parte de la organización, desde el gerente hasta el último de los trabajadores. Sin embargo, el Ingeniero de Métodos tradicionalmente concentra sus esfuerzos en actividades manuales, completamente diferentes a actividades de naturaleza mental (que caracterizan al trabajo de supervisores, ejecutivos e ingenieros). Le corresponde al Ingeniero de Métodos desarrollar un interés conceptual y eventualmente activo, en actividades no manuales, dado el potencial de reducción de costos implícito en ellas y lo complejo y crítico de este tipo de tareas.

Gráfico 2. Posición y alcance de ingeniería de métodos



La posición y alcance de la Ingeniería de Métodos se ilustra gráficamente en la figura 2, en la que se observa que hay dos fases en la función de la Ingeniería de Métodos. La primera, llamada el diseño de métodos, consiste en el proceso de diseñar el método de trabajo, La segunda fase, el estudio de tiempos, es una consecuencia de la primera, ya que es una especificación de una característica de desempeño particular y especialmente importante en el diseño final, a saber, el tiempo de producción.

El estudio de tiempos se ha convertido en un procedimiento separado y en cierta forma especializado, debido a la importancia que el estándar de tiempo tiene para la gerencia de una empresa de manufactura. No debe subestimarse el interés de la gerencia en el tiempo de producción tanto con respecto a su minimización, como a su medición.

4.2.3.3 Teoría de las Restricciones (Theory of Constrains) (James F. Cox III & John G. Schleier, 2010). La teoría de restricciones (TOC) provee una simple y práctica aproximación al problema de administrar sistemas complejos. Ambientes de producción y manufactura están entre los sistemas más complejos, caracterizados por altos niveles de dependencia y variabilidad.

Planear³ el trabajo de muchos recursos (1000 o más), procurando suministrar los materiales desde los proveedores y coordinando todas estas tareas de manera que se cumpla con las fechas comprometidas de despachos, es verdaderamente una tarea retadora. El desarrollo de computadores y sistemas de planeación por computador han sido el mayor facilitador de estas tareas.

En los pasados 20 años, algunos líderes famosos han compartido una valiosa experiencia sobre la estrategia⁴. La estrategia TOC (Theory Of Constraints) está relacionada con escoger “no hacer” muchas cosas y enfocarse en el simple y mayor punto de apalancamiento de la organización. TOC asume que dentro de cada sistema complejo, hay una “simplicidad inherente”. Esto implica que hay unas pocas restricciones (puntos de apalancamiento) que determinan el desempeño del sistema.

Las más recientes estrategias TOC están diseñadas para conducir a un excitante logro de resultados en semanas.

La estrategia TOC encuentra y capitaliza la “simplicidad inherente” en una organización enfocándose en un proceso llamado 5FS (Five Focusing Steps) (Goldratt, 1990, Capítulo1).

Estos pasos 5FS son (James F. Cox III & John G. Schleier, 2010):

1. Identificar la restricción del sistema
2. Decidir cómo explosionar la restricción del sistema
3. Subordinar todo lo demás a la restricción
4. Incrementar la capacidad de la restricción
5. Regresar al primer paso

4.2.3.4 SMED⁵: pasos básicos en el proceso de preparación. Los procedimientos de preparación son concebidos como de infinita variedad, dependiendo del tipo de operación y tipo de equipos que están siendo utilizados. Aunque estos procedimientos son analizados desde diferentes puntos de vista, se puede observar que todas las operaciones de preparación pueden comprimirse en una secuencia de etapas. En los cambios de preparación tradicionales, la distribución de tiempos se hace frecuentemente en las etapas que se muestran en la siguiente tabla:

³ El término planear es utilizado para aquellas actividades que empiezan con una demanda de mercado conocida y genera los planes para administrar el flujo de material a través de la fábrica incluyendo la identificación de cuales materiales comprar, cuando se necesitan.

⁴ El término estrategia define “el qué” deseamos alcanzar.

⁵ SMED: Single Minute Exchange Die

Tabla 2. Etapas en el proceso de preparación

Operación	Proporción de Tiempo
Preparación, ajustes de proceso, verificación de materias primas, cuchillas, dados, utillajes, etc.	30%
Instalar y remover cuchillas, utillajes, partes, etc.	5%
Centrado, dimensionamiento, y preparación de otras condiciones	15%
Corridas de prueba y ajustes	50%

Fuente: (Shingo, A study of the Toyota production system, 1979)

Preparación, ajustes de proceso, verificación de materias primas, cuchillas, dados, utillajes, etc.: (Shingo, 1985) esta etapa asegura que todas las partes y herramientas están donde deben estar y funcionan en forma apropiada. También incluye los tiempos después del proceso cuando las partes y herramientas son removidos de la máquina y regresan para su almacenamiento, cuando la máquina es limpiada, etc.

Instalar y remover cuchillas, utillajes, partes, etc.: (Shingo, 1985) esta etapa incluye los cambios relacionados con utillajes o partes después de completar una orden de producción y la instalación del utillaje o partes para el siguiente lote.

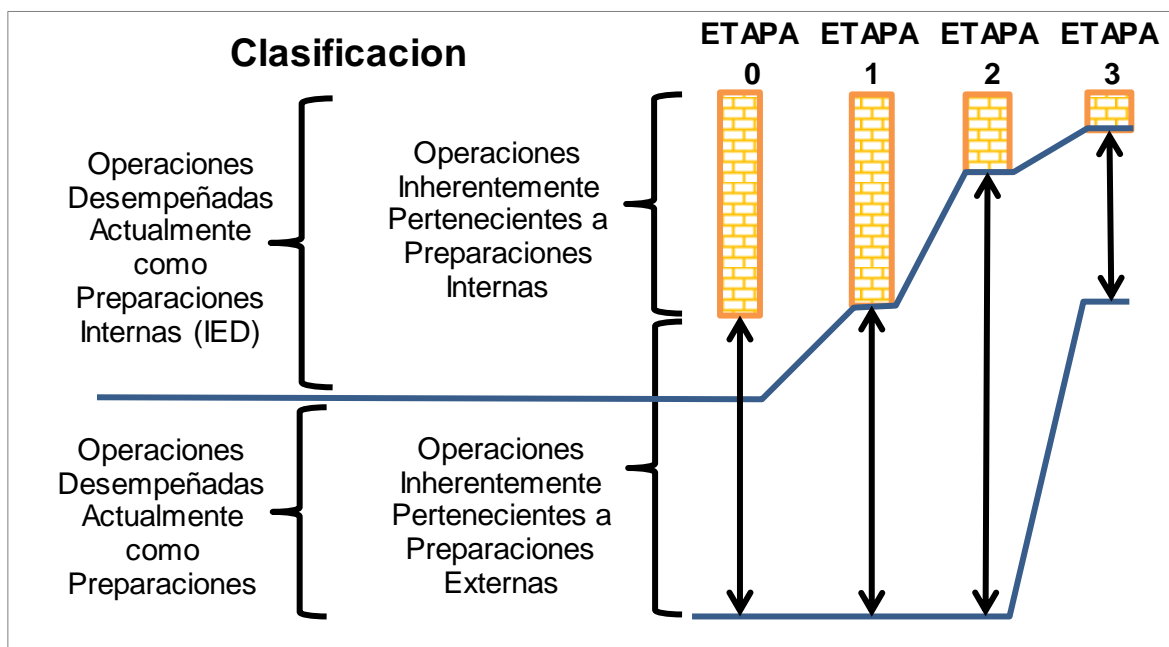
Centrado, dimensionamiento, y preparación de otras condiciones: (Shingo, 1985) esta etapa se refiere a todas las mediciones y calibraciones que deben hacerse con el objetivo de llevar a cabo una operación de producción como centramientos, dimensionamiento, mediciones de temperatura o presión, etc.

Corridas de prueba y ajustes: en esta etapa, diferentes ajustes son hechos después de que una primera unidad de producción es elaborada. Entre mayor sea la precisión de la calibración y mediciones de la etapa anterior, menores ajustes se llevarán a cabo. La frecuencia y longitud de las corridas de prueba y los procedimientos de ajuste posteriores dependen de las competencias y el nivel de experiencia del operario a cargo del alistamiento o preparación. Las grandes dificultades en las operaciones de preparación están relacionadas con el correcto

ajuste de los equipos de manufactura. Una alta proporción del tiempo asociado con las corridas de prueba proviene de problemas de ajuste. Si se pretende hacer que las corridas de prueba requieran menores ajustes, se debe entender que la forma más efectiva es incrementar la precisión de las mediciones y ajustes precedentes.

Mejoramiento de las preparaciones – etapas conceptuales. Las etapas conceptuales involucradas en el mejoramiento de las preparaciones se ilustran en la siguiente tabla (Shingo, 1985):

Gráfico 3. Etapas conceptuales para el mejoramiento de las preparaciones



Fuente: (Shingo, A revolution in manufacturing: The SMED System , 1985)

- **Etapa 0: Estudio Preliminar. Las condiciones de preparación interna y externa no se pueden diferenciar**

En las operaciones de preparación tradicional, las preparaciones internas y externas se confunden; lo que podría hacerse externamente se hace como preparación interna; las máquinas entonces permanecen ociosas por largos periodos de tiempo. En la planeación de cómo implementar SMED, se deben analizar al detalle las condiciones de la planta de producción.

Llevar a cabo un continuo análisis de producción con un cronómetro es probablemente la mejor opción; sin embargo, este tipo de análisis toma mucho tiempo y habilidades especiales.

Otra posibilidad es utilizar un estudio por muestreo; el problema con esta opción es que los muestreos son precisos únicamente donde hay un alto nivel de repetición.

Un tercer tipo de estudio de las condiciones actuales de la planta es la de entrevistar a los operarios.

Un método aún mejor es la de grabar en video una operación de preparación. Este método es extremadamente efectivo si el video es mostrado a los operarios, una vez las actividades de preparación han terminado. Darles a los operarios la oportunidad de expresar sus opiniones al respecto, lleva a obtener oportunidades de mejoramiento que pueden ser aplicadas en el puesto de trabajo.

A cualquier ritmo, aunque algunos consultores argumentan un profundo análisis de producción con el propósito de mejorar los tiempos de las actividades de preparación, la verdad es que una observación y discusión informal con los operarios es frecuentemente suficiente.

- **Etapa 1: Separar las preparaciones internas y externas**

La más importante etapa en la implementación de SMED es la diferenciación entre preparaciones internas y externas. Todo el personal de producción estará de acuerdo con que las preparaciones y el mantenimiento no deberían llevarse a cabo mientras las máquinas están paradas. Sin embargo, es sorprendente observar la frecuencia en la que este tipo situaciones tiene lugar.

Si por el contrario hacemos un esfuerzo científico para hacer todo lo necesario porque las preparaciones sean externas, entonces el tiempo necesario para las preparaciones internas (llevado a cabo mientras la máquina está parada) puede reducirse entre 30% - 50%. Diferenciar claramente entre las preparaciones internas y externas es el pasaporte para alcanzar SMED.

- **Etapa 2: Convertir las preparaciones internas en externas**

Si los tiempos de preparación pueden reducirse entre 30% - 50% separando las preparaciones internas de las externas, esta importante reducción no es suficiente para alcanzar el objetivo de SMED.

La etapa de convertir las preparaciones internas en externas involucra dos importantes nociones:

1. Re-examinar las operaciones para observar si algunas actividades han sido asumidas como internas en forma equivocada.

2. Encontrar formas de convertir estas actividades en externas, como por ejemplo: pre-calentar elementos, que eran calentados durante la preparación; convertir el centrado en un procedimiento externo llevándolo a cabo antes que la producción empiece.

Las operaciones que ahora se llevan a cabo como preparaciones internas pueden con frecuencia convertirse en externas re-examinando su verdadera función. Esto es extremadamente importante para adoptar una nueva perspectiva por fuera de los viejos hábitos.

- **Etapas 3: Simplificar todas las tareas de las operaciones de preparación**

Aunque el rango de un solo minuto (single minute) puede ocasionalmente ser alcanzado mediante la conversión de las preparaciones internas en externas, esto no es posible en la mayoría de los casos debido a que no todas las preparaciones de los procesos productivos pueden llevarse al rango de un solo minuto. (Shingo, 1985)

Las etapas 2 y 3 no tienen que llevarse a cabo en forma secuencial, pueden ser también en forma simultánea.

SMED fue desarrollado en un periodo de 19 años como resultado de un muy cercano examen de los aspectos teóricos y prácticos del mejoramiento de las preparaciones. Ambos, el análisis y la implementación, son entonces fundamentales para el sistema SMED y deben ser parte de cualquier programa de mejoramiento.

Existen dos tipos de preparaciones, internas y externas: IDE y OED respectivamente. Las cuatro etapas conceptuales de mejoramiento de las preparaciones involucran la distinción entre estos dos tipos de preparaciones y el convertir las preparaciones internas en externas.

Una vez identificadas las preparaciones, todos los aspectos de estas pueden ser direccionados en cada una de las etapas (McIntosh, Culley, Mileham, & Owen, 2001).

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

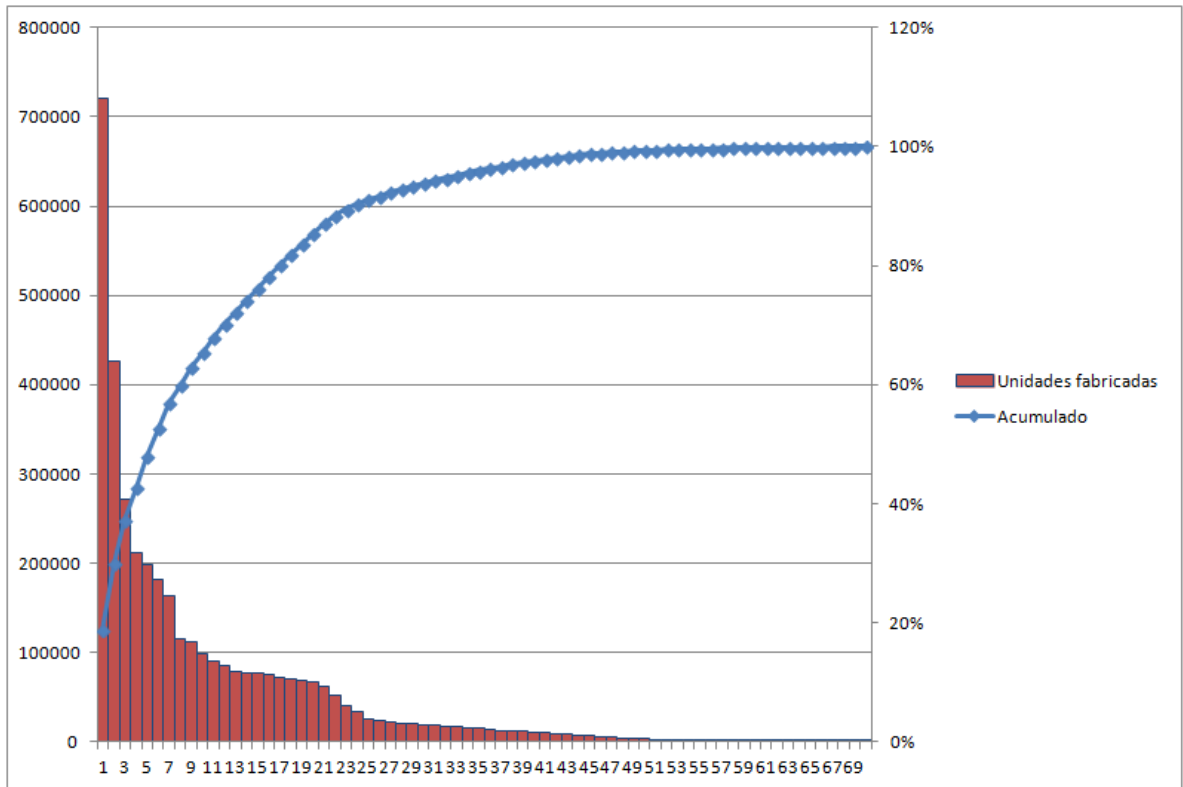
5.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCION M

JKL cuenta con un sistema de monitoreo en línea en el que minuto a minuto registra la actividad en que se encuentra cada una de las máquinas. Además cuenta con un ERP⁶ donde se registran las cantidades fabricadas de cada producto a lo largo del año. Aprovechando estas herramientas se extrae del sistema (para realizar el análisis) la información de volumen de producción y frecuencia (que tantas veces se programaron las máquinas de la línea para su producción) de todas las referencias que fueron fabricadas del producto M, para el año 2013

5.1.1 Clasificación de las referencias fabricadas en el año 2013 de acuerdo al volumen producido. Para identificar los productos de mayor demanda se utiliza un Pareto donde no solo se observa el número de unidades fabricadas por referencia del producto M sino también qué porcentaje del total del producido del año representan.

⁶Enterprise Resource Planning, software para el manejo de información de la empresa

Gráfico 4. Pareto de cantidad de unidades fabricadas del producto M por referencia año 2013



Fuente: Departamento de Producción JKL

Del total de las 70 referencias de la familia de producto producidas en el año 2013, 17 (ver Gráfico 4) tuvieron el 80% de la cantidad total de unidades fabricadas, se utilizarán estas entonces para el diagnóstico de cada una de las máquinas.

5.1.2 Estudio de tiempos de utilización para la línea de producción. El Departamento de Producción de JKL clasifica las actividades de cada máquina en cinco categorías, a saber:

Producción: definida como el tiempo que la máquina está fabricando el producto.

Mantenimiento: hace referencia a cualquier tiempo en que la máquina esté siendo ocupada para actividades de mantenimiento ya sea preventivo, correctivo (averías) o programado.

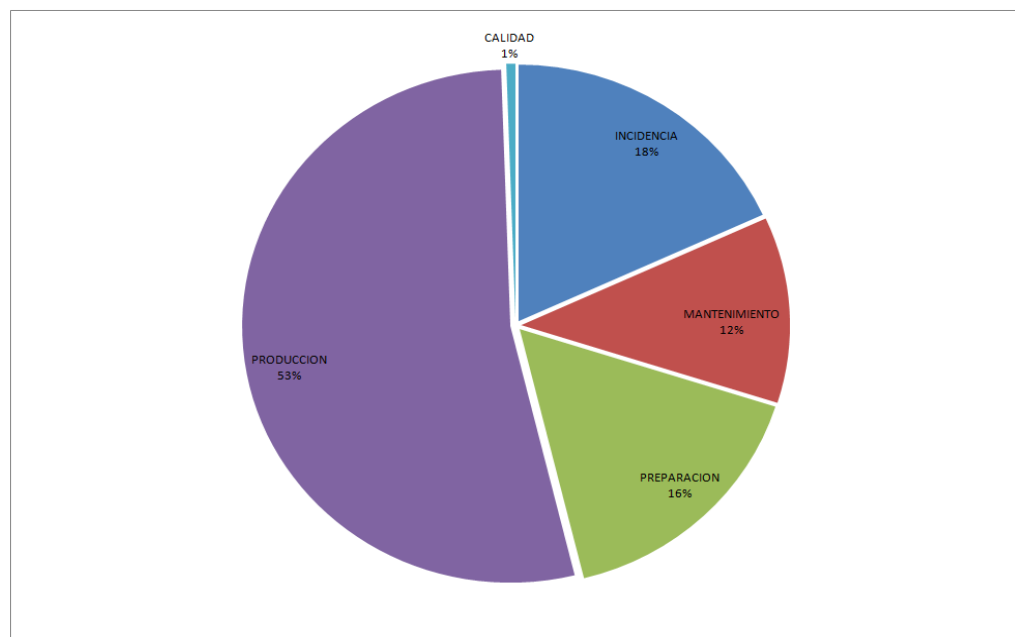
Calidad: tiempo que requiere la máquina para hacer correcciones de temas de calidad, como la falla de materias primas, la falla en el proceso, etc.

Preparación: este es el tiempo que toman todas las actividades requeridas para alistar la máquina para la fabricación del producto; esta actividad termina cuando la máquina ya inicia a fabricar productos con las especificaciones de acuerdo al estándar.

Incidencia: todo el tiempo que la máquina esté parada por actividades que no entran en la clasificación de las cuatro anteriores como son: falta de estiba de salida, falta de alimentación, el tiempo que gasta el operario en el casino, etc.

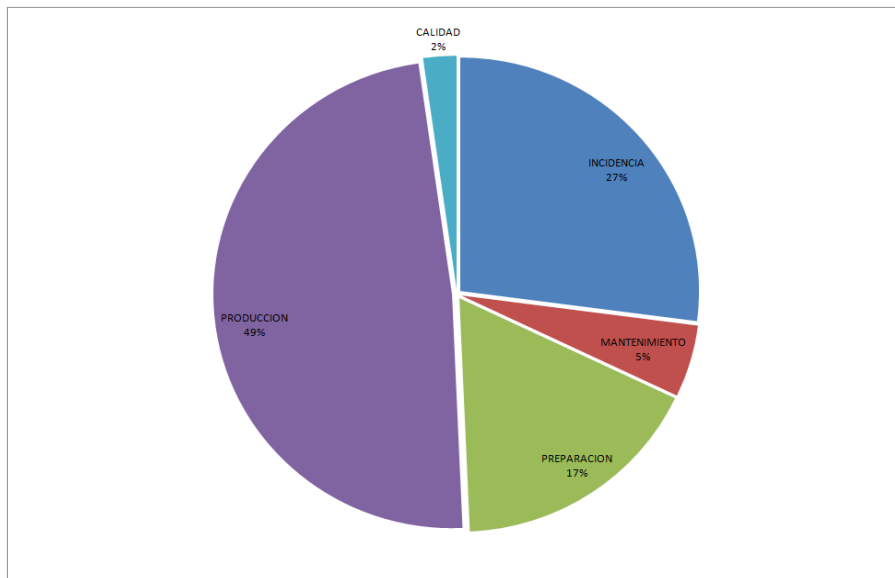
Como se mencionó anteriormente JKL cuenta con un sistema donde el operario manualmente registra en qué actividad se encuentra la máquina. A continuación (ver gráficos 5 al 9) se presentan los porcentajes de tiempo de ocupación de cada una de las máquinas (para el tiempo que estuvieron programadas para la fabricación de las 17 referencias escogidas)

Gráfico 5. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 1 año 2013



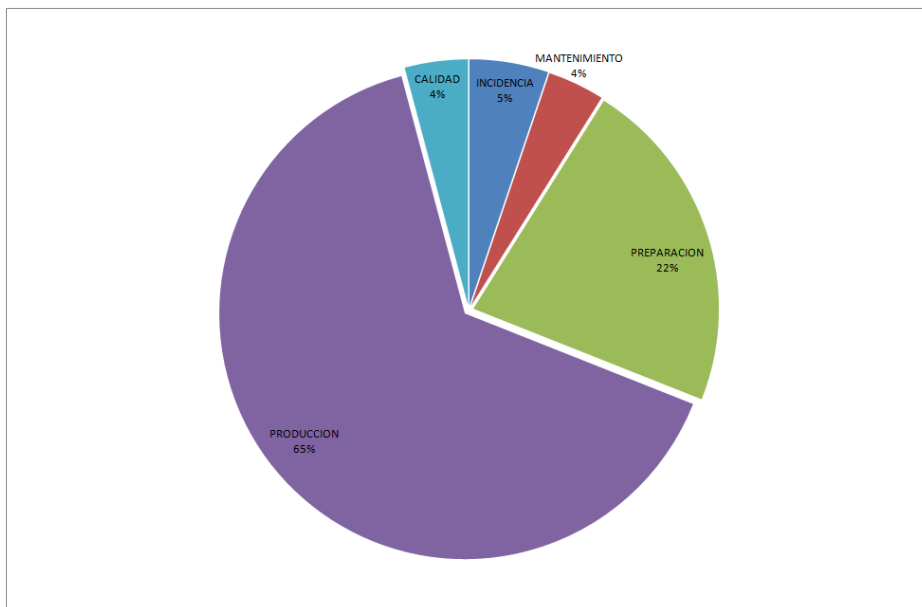
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 6. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 2 año 2013



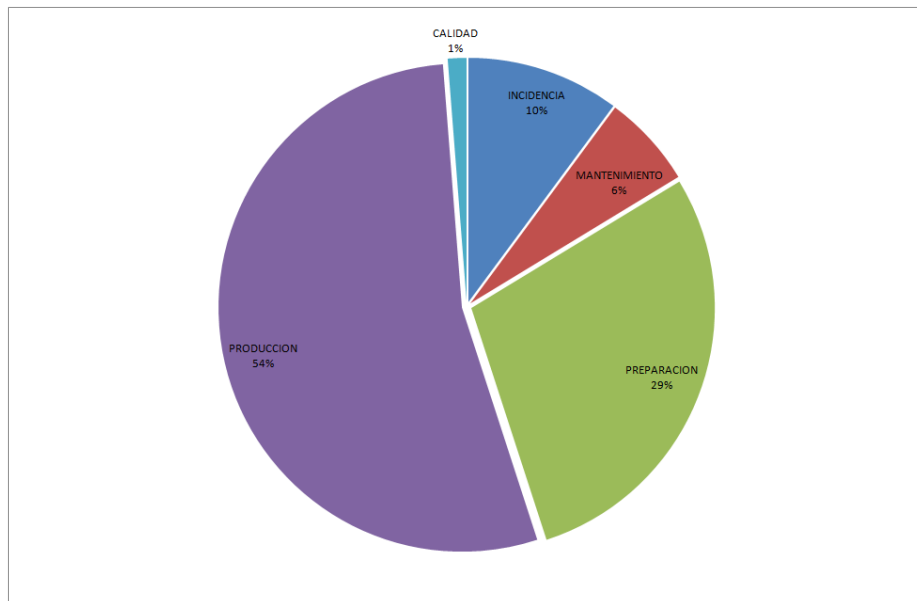
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 7. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 3 año 2013



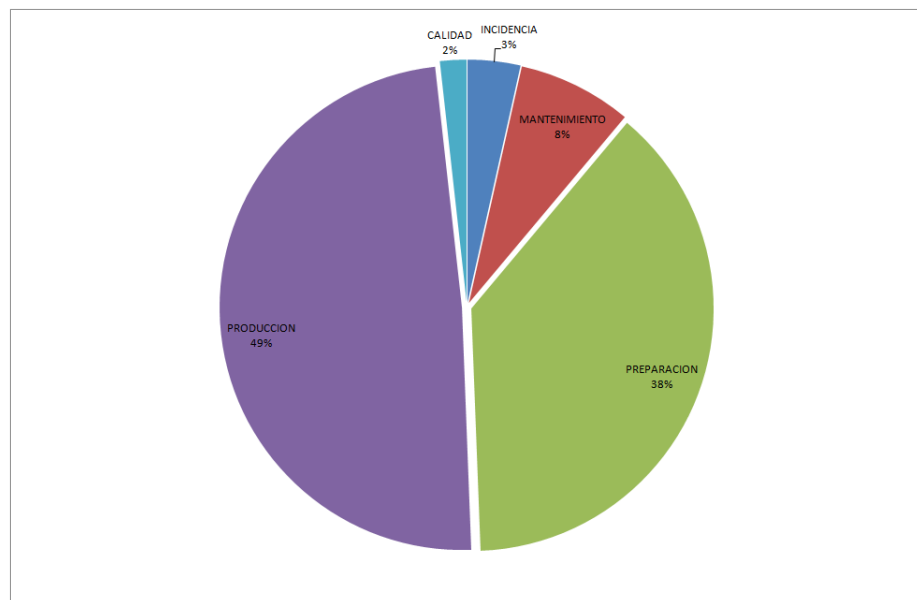
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 8. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 4 año 2013



Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 9. Porcentaje del total del tiempo empleado para cada actividad para la máquina No 4A año 2013



Fuente: Departamento de Producción JKL

Después de analizar la información se identifica para cada máquina donde están los mayores tiempos ocupados en actividades diferentes a las de producción (ver tabla 3)

Tabla 3. Resumen del tiempo ocupado en cada actividad para cada máquina en porcentaje para el año 2013

MÁQUINA	PRO	MTTO	CALIDAD	INCIDENCIA	PREP
1	53%	12%	1%	18%	16%
2	49%	5%	2%	27%	17%
3	65%	4%	4%	5%	22%
4	54%	6%	1%	10%	29%
4 ^a	49%	8%	2%	3%	38%

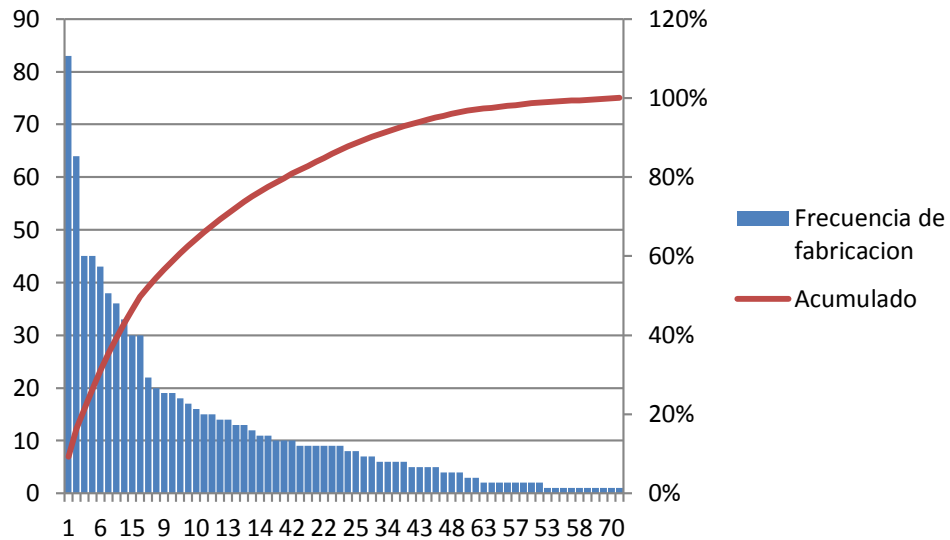
Fuente: Los autores

5.1.3Elaboración Del VSM (Value Stream Mapping). Para analizar el estado actual de la línea de producción se escoge como herramienta el Value Stream Mapping (mapa de la cadena de valor), ya que permite identificar fácilmente donde están las oportunidades de mejora **(Nash & Poling, 2008)**.

Para la elaboración del VSM se utilizará el enfoque de la matriz sugerido por (Nash & Poling, 2008). Este consiste en primero definir todas las tareas requeridas para la fabricación de la familia del producto a estudiar, además de las referencias que componen dicha familia. Una vez obtenida esta información, se plasma en una tabla (matriz) en la que se indica para cada referencia, cuáles son las actividades que deben ejecutarse para su fabricación; con esto se escoge la referencia que más actividades tenga (en lo posible todas).

En el presente trabajo se escogen como referencias candidatas, las 17 de mayor demanda para el año 2013 (ver Gráfico 4); como segundo criterio se escogen las que más actividades tengan y finalmente de estas últimas se escogerán las referencias que más frecuentemente se hayan fabricado en el año 2013 (ver Gráfico 10), dejando finalmente dos referencias para estudiar: una correspondiente al producto liviano y otra al producto pesado.

Gráfico 10. Pareto de frecuencia de fabricación de las referencias de la familia del producto M año 2013



Fuente: Departamento de Producción JKL

Tabla 4. Cantidad fabricada, frecuencia de fabricación y procesos involucrados para 17 referencias del producto M

Referencia	Cantidad	Frecuencia	Tipo	T	C	E1	E2	R1	R2
1	720596	83	L	X	X	X		X	
2	426843	64	L		X	X		X	
3	272180	45	L	X	X	X	X	X	
4	211748	30	L		X	X	X	X	
5	198425	45	L		X	X		X	
6	181156	43	P	X	X	X	X		
7	164363	13	L	X	X	X			
8	115669	9	L	X	X	X			
9	111568	19	L	X	X	X		X	
10	98584	16	L	X	X	X	X	X	
11	89846	36	L	X	X	X	X	X	
12	85383	38	P	X	X	X	X		X
13	78206	14	P	X	X	X	X		X
14	77437	11	L	X	X	X		X	
15	77375	30	L			X	X	X	
16	74999	6	L	X	X	X		X	
17	72870	19	L	X		X			

Fuente: Departamento de Producción JKL

Se escogen para analizar las referencias No 3 (liviano) y No 12 (pesado) ya que si bien estas no fueron los de mayor demanda para el año 2013 (ver Gráfico 4), son los que más actividades y alta frecuencia de fabricación tuvieron (ver tabla 3).

5.1.3.1 Componentes del VSM

- **Tiempo de ciclo**

“the average elapsed time from the moment one good piece is completed until the moment the next good piece is completed”⁷ (Nash & Poling, 2008).

Para el cálculo de este tiempo es necesario conocer la velocidad de producción. JKL calcula este parámetro dividiendo las unidades producidas por la máquina contra el tiempo de producción, este valor se promedia y es el que se da como velocidad promedio de trabajo real, desafortunadamente es un valor puntual (no se tienen los valores históricos) debido a que aún no se tiene un registro en línea de la velocidad de la máquina y como se mencionó el cálculo se hace de manera manual, se promedia e ingresa a la base de datos. En el VSM se incluirá tanto el tiempo de ciclo real (T/C) como el que la empresa ha establecido como estándar (TC/std) para cada una de las máquinas que componen la línea de producción del producto M.

- **Tiempo de preparación (C/O)**

“The elapsed time from the moment the last good piece of one product run is completed to the moment that the first good piece of a different product is completed”⁸ (Nash & Poling, 2008)

En el VSM se incluyen tanto el tiempo de preparación estándar (C/O std) de acuerdo con los estándares definidos por la empresa, como el tiempo de preparación promedio real, este se obtuvo con los datos obtenidos de los tiempos de preparación registrados de cada máquina en el año 2013, con esta información se definió un intervalo de confianza para el valor promedio reportándose el límite superior de este como valor promedio de tiempo de preparación (ver anexos 2,3,4,5 para los datos de la referencia liviana y 6,7,8 y 9 para los de la referencia pesada).

⁷El tiempo promedio que ocurre entre que una pieza buena es completada hasta que la siguiente pieza buena es completada

⁸ El tiempo que pasa desde el momento que la última pieza buena de una corrida de un producto es completada hasta el momento que la siguiente pieza buena de otro producto es terminada

- **Confiabilidad (U/T)**

“Uptime is the percentage of time that a piece of equipment works properly when the operator uses it for the prescribed task”⁹ (Nash & Poling, 2008)

Se calcula a partir del porcentaje que estuvo la máquina parada por algún tipo de avería durante el tiempo que estuvo programada para la fabricación de la referencia escogida, es decir, confiabilidad es igual a 1-%avería.

- **Disponibilidad**

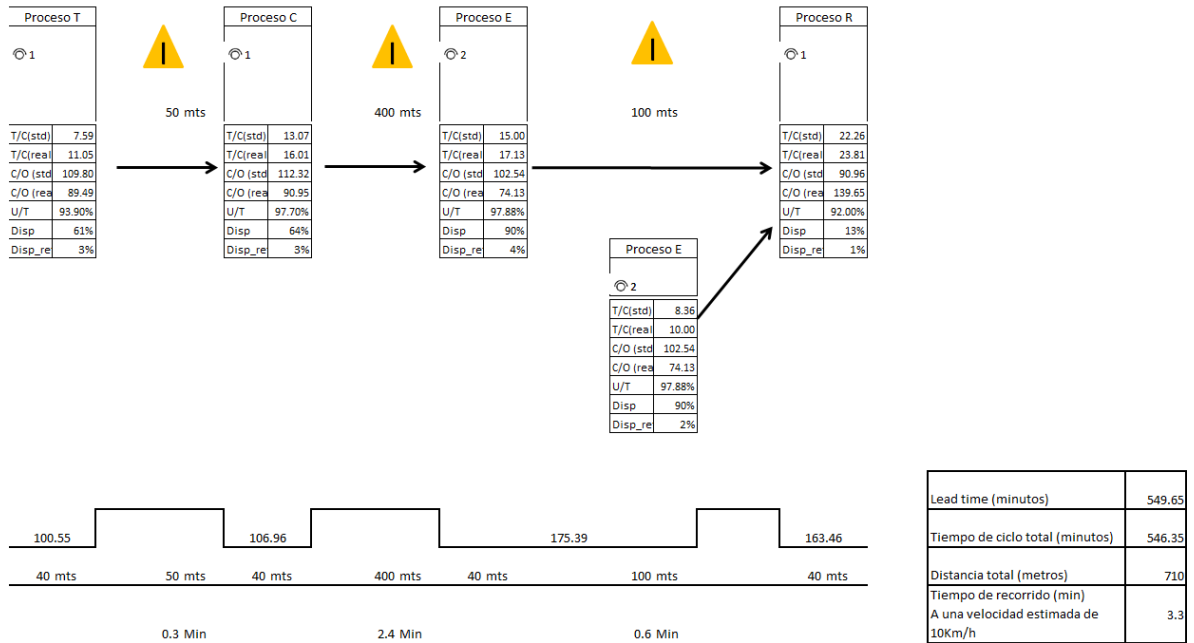
“The availability of equipment (AOE) is the percentage of the time that a piece of equipment shared between two or more value streams is available for production of parts in the value stream being mapped”¹⁰ (Nash & Poling, 2008)

Para su cálculo se toma el porcentaje del tiempo total (de las 8760 horas del año) que la máquina estuvo disponible para la fabricación del producto, descontando las actividades de mantenimiento. Para este caso de estudio se indica primero la disponibilidad para la producción de la familia de producto M (Disp) y luego se indica la disponibilidad de la máquina para la fabricación de la referencia estudiada (Disp_ref). A continuación se presentan las VSM del proceso de fabricación tanto de la referencia liviana (ver figura 1) como de la referencia pesada (ver figura 2)

⁹El porcentaje de tiempo que un equipo funciona adecuadamente cuando el operario la usa para la tarea prescrita.

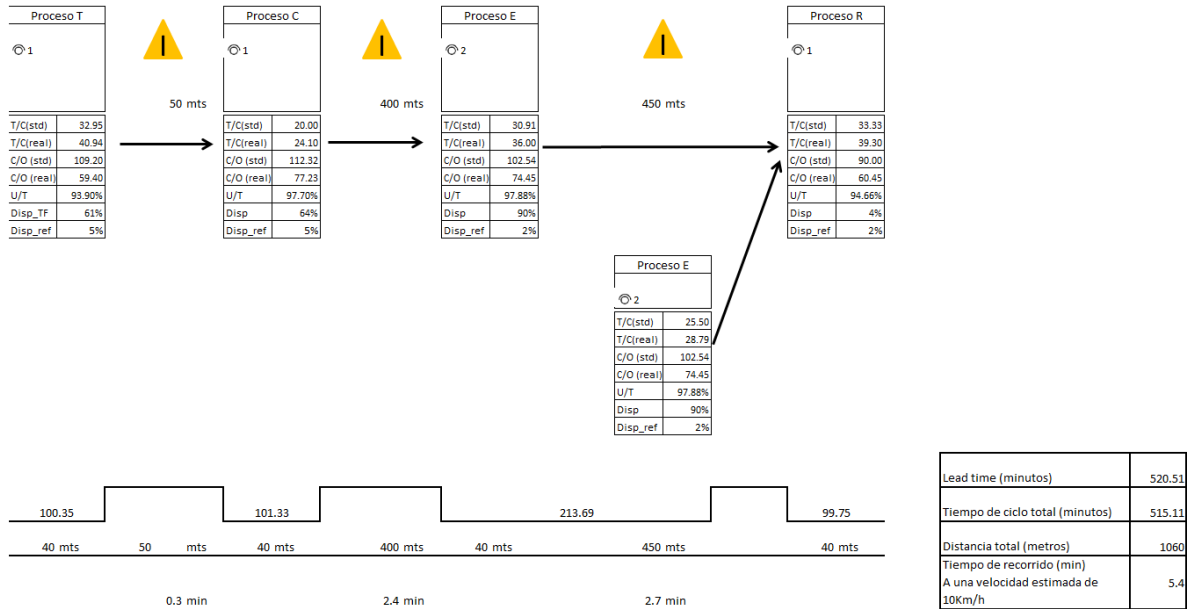
¹⁰ Disponibilidad del equipo es el porcentaje del tiempo que una pieza de equipo compartida entre dos o más cadenas de valor está disponible para la producción de partes en la actual cadena de valor.

Figura 1 VSM del proceso de fabricación de la referencia liviana



Fuente: Los autores

Figura 2 VSM del proceso de fabricación de la referencia pesada



Fuente: Los autores

5.1.4 Análisis delos VSM. Después de realizar el VSM tanto para la referencia liviana como para la pesada, se tiene el mayor tiempo de ciclo en el proceso E, esto se debe a que si bien la máquina es relativamente rápida, debe primero fabricar las capas del producto y luego su núcleo, esto implica entonces otro tiempo de preparación junto con otro tiempo de ciclo. Se encuentra pues que el cuello de botella (restricción) del sistema está en el proceso E.

Se observa además, la diferencia de distancias de recorrido entre las referencias liviana y pesada debido a la diferencia de ubicación de las máquinas que se utilizan para el proceso R.

Tabla 5. Resumen de datos del VSM

	Referencia	
	Liviana	Pesada
Tiempo de ciclo total (horas)	9.16	8.68
Distancia total (metros)	710	1060
Tiempo de recorrido (horas) A una velocidad estimada de 10Km/h	0.055	0.09
Tiempo de ciclo máquina 1 (horas)	1.7	1.67
Tiempo de ciclo máquina 2 (horas)	1.8	1.69
Tiempo de ciclo máquina 3 (horas)	2.9	3.56
Tiempo de ciclo máquina 4 (horas)	2.7	1.66

Fuente: los autores

5.2 IDENTIFICACION DE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA Y GENERACION DE LAS PROPUESTAS

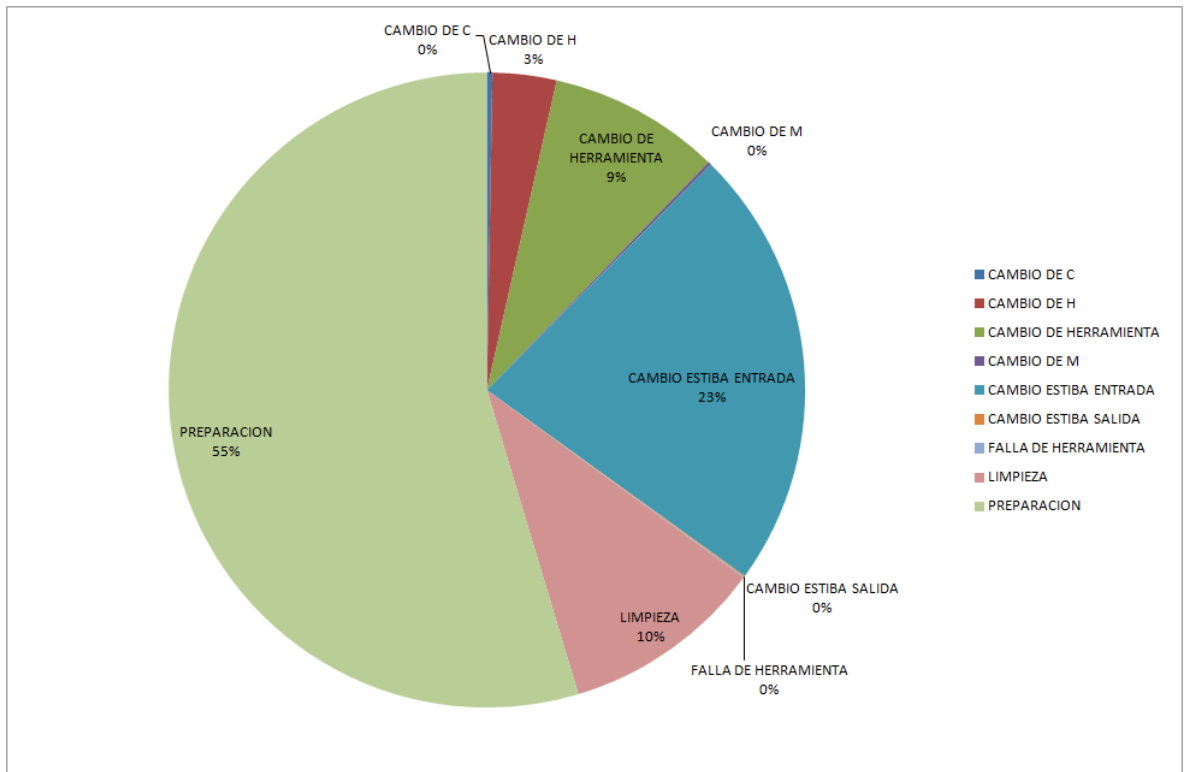
Se plantea reducir el ciclo de tiempo del sistema ya que este impactara directamente en la disponibilidad de la línea (cada minuto menos en el ciclo de tiempo será un minuto más que la línea estará disponible para fabricar la misma o otra referencia). Se escoge aplicar los cinco pasos de la teoría de restricciones (Goldratt, 1990); para identifica, explotar y mejorar el recurso restricción de la línea de producción, ya que toda mejora que impacte positivamente (disminuya) el tiempo de ciclo de este recurso, impactara a su vez en toda la línea, como menciona Goldratt *“una hora perdida en el cuello de botella (restricción) equivale a una hora perdida en todo el sistema, una hora perdida en una etapa que no sea una restricción es un espejismo”* (Goldratt, 1990). Si bien las máquinas uno dos y cuatro (y cuatro A), tienen grandes oportunidades de mejora en tiempos de alistamiento y en tiempos perdidos por incidencias, es la máquina tres la que posee el tiempo de ciclo más largo, es en la que se trabajara para disminuir el de toda la línea y así aumentar la disponibilidad de la misma.

5.2.1 Identificar la restricción del sistema. Como se mencionó anteriormente la restricción del sistema actual (vista desde el punto de vista del tiempo de ciclo más largo) se encuentra en la máquina que realiza el proceso E. (ver anexos 2 y 3).

5.2.2 Decidir cómo explotar las restricciones del sistema. Para mejorar la disponibilidad de la máquina # 3 (restricción) se propone mejorar los tiempos de alistamiento e incidencia (ver Gráfico 7).

5.2.2.1 Propuesta de mejora para los tiempos de preparación. SMED. Del análisis de tiempos de la máquina # 3, se observa que se tiene un 22% de tiempo empleado en preparaciones.

Gráfico 11. Distribución de tiempos entre las múltiples actividades clasificadas como preparación



Fuente: Departamento de Producción JKL

Para mejorar estos tiempos, se propone la implementación de un SMED.

5.2.2.1.1 Etapa O. Observación directa para identificar las condiciones de preparación. Utilizando la técnica de observación directa en la máquina, durante las actividades de preparación y con tomas de video, se identificaron y documentaron actividades realizadas durante las preparaciones en el proceso de producción E:

5.2.2.1.2 Etapa 1: Separar las preparaciones internas y externas. La siguiente tabla muestra la secuencia de operaciones, su clasificación y los tiempos que cada una de ellas toma en promedio.

Nota: los tiempos fueron redondeados a unidades discretas en minutos. Ver anexo 11 para la definición de actividades internas y externas del proceso de actual de preparación de la máquina No.3

El 72.64% (ver tabla 7) del tiempo de preparación actual de la maquina tres, corresponde a preparaciones internas que obligan al recurso a estar parado afectando su tiempo de ciclo.

Tabla 6. Resumen de actividades internas, externas y los tiempos asociados del estudio inicial

Actividad De preparación	Cantidad	Tiempo
Interna	40	77 min
Externa	8	29 min
Total preparación	48	106 min
Tiempo máquina parada actual		77 min

Fuente: Los autores

5.2.2.1.3 Etapa 2: Convertir las preparaciones internas en externas. Las siguientes preparaciones internas pueden ser convertidas en preparaciones externas:

- **Actividad 7:** colocar estiba “master o de tiro” en el alimentador disponible de la máquina.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

Propuesta: utilizar alimentadores portátiles que tienen capacidad para alojar la estiba “master o de tiro” sin comprometer los alimentadores de la máquina. El alimentador portátil, como la estiba “master o de tiro” pueden ser ubicados en la máquina antes de terminar el proceso de producción de la orden actual.

- **Actividad 8:** retirar estiba vacía del alimentador en uso.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 1 minuto

Propuesta: esta actividad se convierte en externa una vez se utilice el alimentador portátil con la estiba “master o de tiro”.

- **Actividad 9:** colocar estiba de alimentación de la siguiente orden de producción.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

Propuesta: esta actividad se convierte en externa una vez se utilice el alimentador portátil con la estiba “master o de tiro”.

- **Actividad 24:** limpiar filtro.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

Propuesta: mantener filtros a una temperatura igual a la del cabezal para que el personal del área de utillaje los pueda limpiar fácilmente.

- **Actividad 25:** retirar soporte utillaje exterior orden de producción actual.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

- **Actividad 26:** retirar utillaje exterior de la orden de producción actual.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

- **Actividad 27:** limpiar utillaje exterior de la orden de producción actual.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 3 minutos

- **Actividad 28:** instalar mecanismo expulsión utillaje interior.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 3 minutos

- **Actividad 29:** retirar utillaje interior.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

- **Actividad 30:** limpiar utillaje interior.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 3 minutos

- **Actividad 31:** limpiar cabezal.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 10 minutos

- **Actividad 36:** instalar utillaje interior de la siguiente orden de producción.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

- **Actividad 37:** instalar utillaje exterior de la siguiente orden de producción.

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 2 minutos

Propuesta: adquirir un cabezal auto-centrante adicional para la máquina. Este cabezal será suministrado a la máquina con el utillaje correspondiente a la siguiente orden de producción. Las actividades de preparación relacionadas con la limpieza del cabezal en uso pueden llevarse a cabo en el área de utillaje.

- **Actividad 44:** centrar y dimensionar (inicial).

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 4 minutos

Propuesta: esta actividad será eliminada con el cabezal auto-centrante.

- **Actividad 46:** ajustar centro y dimensiones

Estado actual: preparación interna

Tiempo: 3 minutos

Propuesta: esta actividad será eliminada con el cabezal auto-centrante.

Después de realizado el ejercicio, los tiempos de preparación interna, se redujeron de un 72.64% (ver tabla 7) a un 34.34% (ver tabla 8). Lo que implica una reducción del 55.8% del tiempo total de parada. Esta reducción disminuye el tiempo de ciclo de la maquina y a su vez el de la línea.

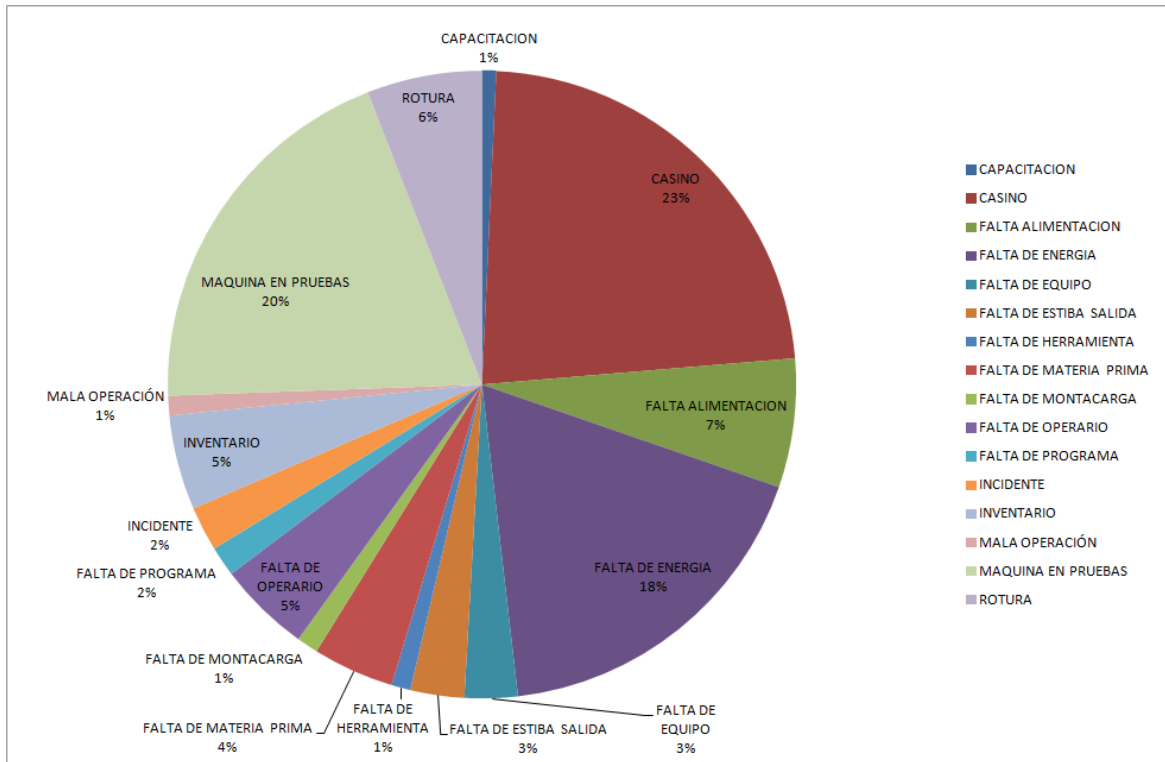
Tabla 7. Resumen de actividades internas, externas y los tiempos asociados después de la propuesta de mejoramiento

Actividad de preparación	Cantidad antes de SMED	Cantidad después de SMED	Tiempo antes de SMED	Tiempo después de SMED	Reducción de tiempo (%)
Interna	40	25	77 min	34 min	55.8%
Externa	8	21	29 min	65 min	
TOTAL	48	46	106 min	99 min	
Tiempo máquina parada después mejoramiento propuesto					34 min

Fuente: los autores

5.2.2.2 Descripción de los las actividades de incidencia que mayor impacto tuvieron en la máquina No.3 junto con las recomendaciones para disminuirlas. Del estudio de tiempos del año 2013, se tiene la siguiente información sobre qué porcentajes de tiempo tienen cada una de las actividades catalogadas como incidencias para la máquina No.3:

Gráfico 12. Distribución de tiempos entre las múltiples actividades clasificadas como incidencia



Fuente: Departamento de Producción JKL

Casino: hace referencia al tiempo que la máquina esta detenida porque los operarios están tomando sus alimentos.

- Se recomienda para esta máquina garantizar siempre un relevo para los tiempos de casino, es decir, que mientras los operarios titulares de esta máquina vayan a tomar su alimentos, sean reemplazados por operarios de otras máquinas que no sean críticas.

Falta de alimentación: cuando la máquina espera a que llegue la estiba con el material desde el proceso C (máquina No.2)

Falta de energía: el tiempo que la máquina se detiene y vuelve a arrancar después de una parada como consecuencia de una fluctuación en el sistema eléctrico (una baja momentánea en el nivel de tensión o un corte de energía).

- Se sugiere la compra de un equipo para la absorción de estos fenomenos eléctricos; antes debe evaluarse el costo en términos de máquina parada y desperdicio, ya que estos equipos en el mercado tienen un costo de aproximadamente \$150.000 USD.

Máquina en pruebas: el tiempo que el departamento de I&D utiliza la máquina para pruebas de nuevos materiales.

- Dado que JKL cuenta en la planta con varias máquinas similares, se le sugiere a I&D que utilice otra que no sea crítica para el sistema.

5.2.3 Subordinar todo lo demás a la restricción se debe garantizar que la maquina No 3 en todo momento tenga material a procesar, no debe pararse por falta de algun recurso.

5.2.4 Elevar la restricción. Para mejorar el tiempo de ciclo del proceso E, se sugiere que la máquina # 3 (actual), se encargue de fabricar solo las capas del producto y que se utilice una máquina similar (de hecho la planta cuenta con una máquina con la capacidad al lado de la máquina 3) para que fabrique el núcleo del producto. Esto disminuiría el tiempo de ciclo en 2.07 horas para la referencia liviana (23%) y 2.39 horas (27%) para la pesada (ver tabla 8) aumentando así la disponibilidad de la línea.

Tabla 8. Resumen de los VSM futuros (aplicando las propuestas de mejora del SMED en la máquina No.3 y la utilización de la máquina 3A para la fabricación de los núcleos)

	Referencia					
	Liviana			Pesada		
	Antes	Después	Reducción	Antes	Después	Reducción
Tiempo de ciclo total (horas)	9.16	7.09	2.07	8.68	6.28	2.39
Distancia total (metros)	710	710	0.00	1060	1060	0.00
Tiempo de recorrido (horas) A una velocidad estimada de 10Km/h	0.055	0.055	0.00	0.09	0.09	0.00
Tiempo de ciclo máquina 1 (horas)	1.7	1.7	0.00	1.67	1.67	0.00
Tiempo de ciclo máquina 2 (horas)	1.8	1.8	0.00	1.69	1.69	0.00
Tiempo de ciclo máquina 3 (horas)	2.9	0.9	2.07	3.56	1.17	2.39
Tiempo de ciclo máquina 3A (horas)	N/A	0.6	N/A	N/A	1.05	N/A
Tiempo de ciclo máquina 4 (horas)	2.7	2.7	0.00	1.66	1.66	0.00

Fuente: Departamento de Producción JKL

5.2.5 Nueva restricción. Si se aplicaran las mejoras sugeridas, se espera que la restricción se mueva hacia el proceso R (máquinas 4 y 4A) por lo que se propone aplicar la misma metodología para hacer una mejora en este proceso.

5.3 VALIDACION DEL IMPACTO DE LAS PROPUESTAS UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACION

Para evaluar el efecto que tendría la aplicación de las propuestas en la línea se decide crear un modelo de simulación a partir de los datos trabajados durante el desarrollo del proyecto. El objetivo de este será el de simular todo el proceso de fabricación tanto de la referencia pesada como la liviana en varios escenarios para así validar el impacto que cada una de las propuestas de mejora tendría en el tiempo de ciclo de fabricación de las referencias y por ende en la disponibilidad de la línea.

5.3.1 Construcción del modelo

Se plantean cuatro locaciones correspondientes a las cuatro máquinas que forman parte de la línea de producción M, a cada una de estas se le asigna:

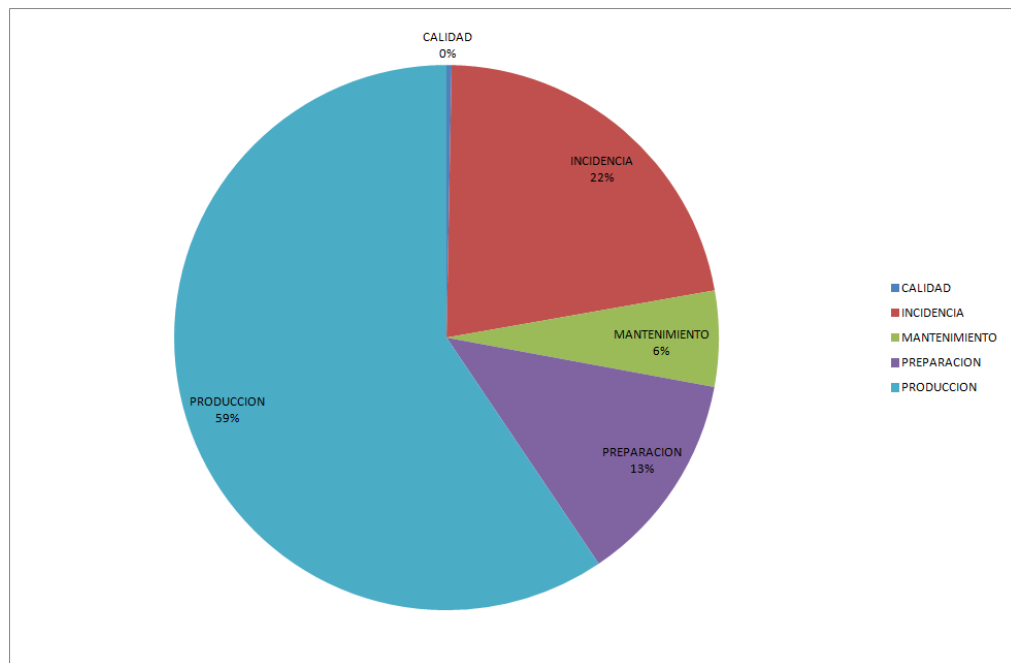
1. Un tiempo de ciclo determinístico, basados en los datos del VSM (tanto para la referencia liviana como para la pesada), no se usa ninguna distribución ya que como se comento anteriormente, JKL no lleva un registro de velocidad de máquina para cada corrida si no que mantiene solo los datos de velocidad promedio.
2. Una distribución de probabilidad para los tiempos de preparación.
3. Una distribución de probabilidad para las incidencias.
4. Una distribución de probabilidad para las averías.

Ya definidas las características de cada una de las locaciones, se proceden a definir tres entidades que serán transformadas en el modelo así:

1. **Capa:** es procesada secuencialmente (ver anexo 1) por las máquinas 1, 2 y 3.
2. **Núcleo:** esta entidad solo es transformada por la máquina 3, de acuerdo al departamento de producción, cuando se realiza la fabricación de un lote de producción del producto M, primero se fabrican las unidades de la capa y luego se hacen las del núcleo.
3. **Producto M:** Para poder conformarla, se hace primero un ensamble de una capa con un núcleo que se procesa solo en la máquina cuatro, la cual lo convierte finalmente en el producto M, que es la variable final de salida.

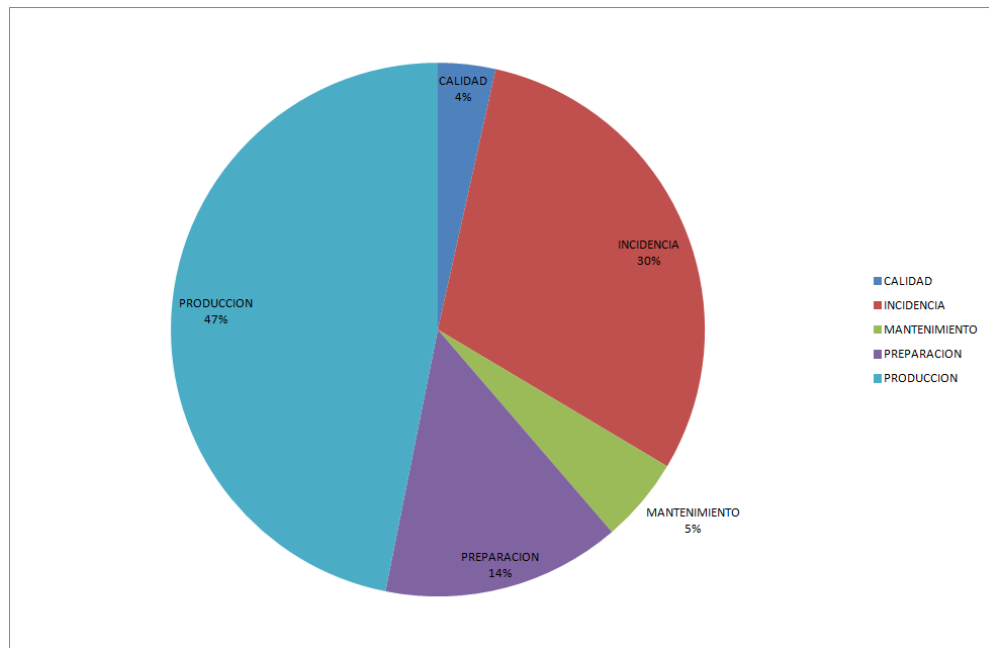
5.3.2 Definición de las distribuciones de probabilidad. Para definir las distribuciones de probabilidad de cada actividad, se utilizan los datos recolectados de la base de JKL para el año 2013 en la línea de producción M tanto para la referencia de producto liviana como para la pesada. Para definir la probabilidad de una máquina se encuentre en cada actividad se definen para cada máquina, distribuciones empíricas a partir de los datos anteriormente mencionados. (Ver gráficos 13 al 20)

Gráfico 13. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.1 para la fabricación de la referencia liviana



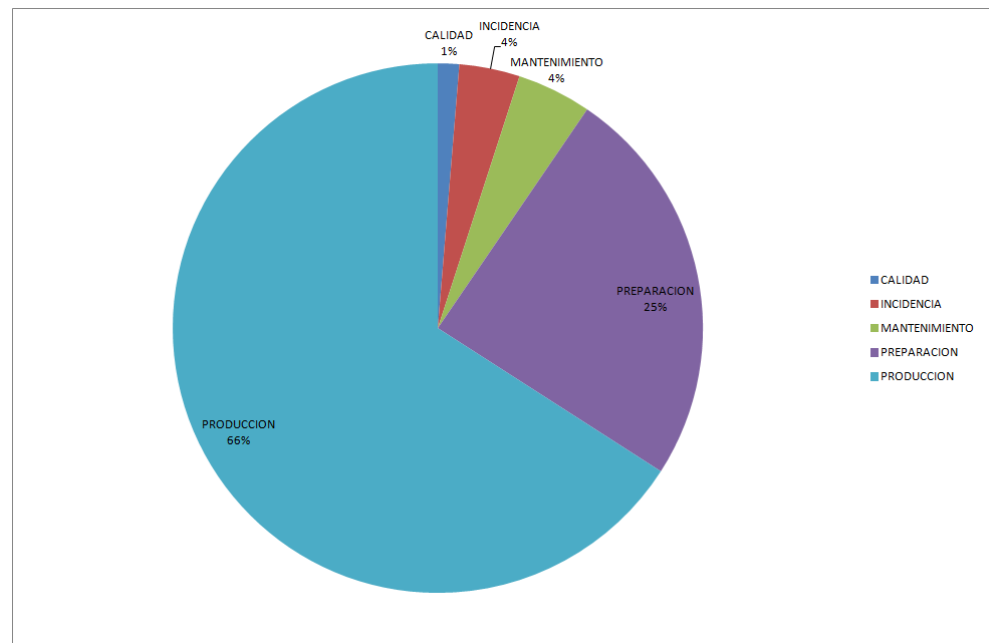
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 14. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.2 para la fabricación de la referencia liviana



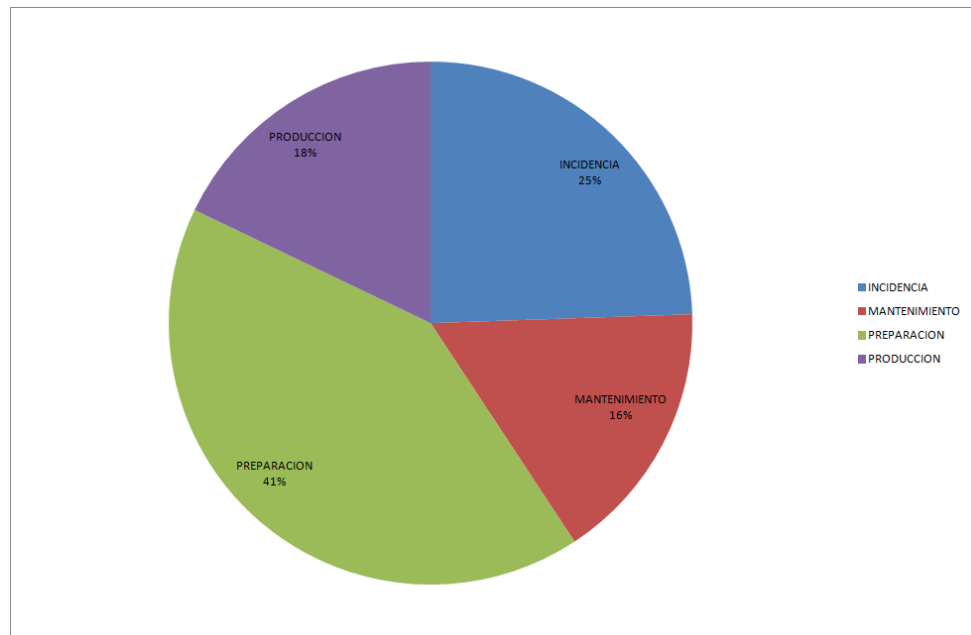
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 15. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.3 para la fabricación de la referencia liviana



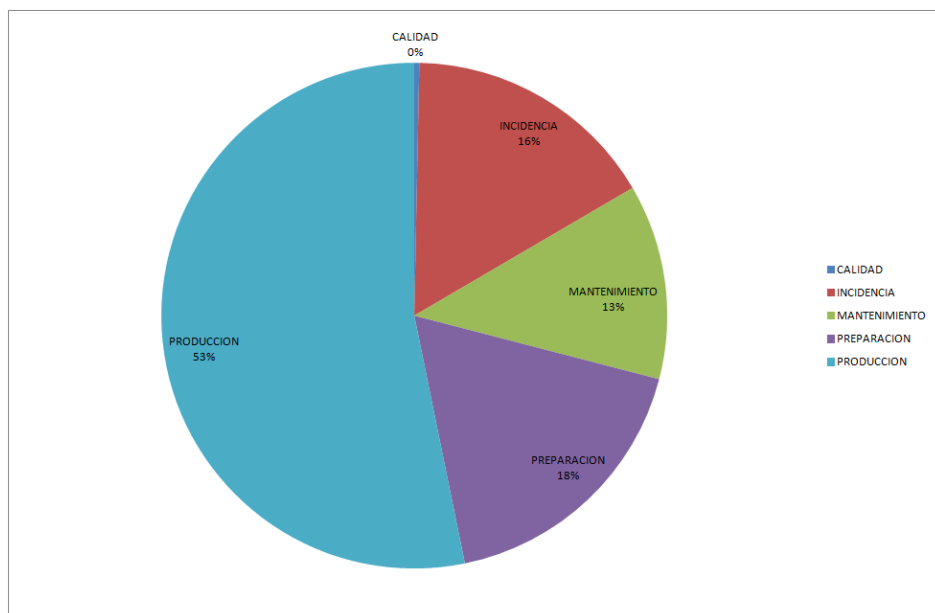
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 16. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.4 para la fabricación de la referencia liviana



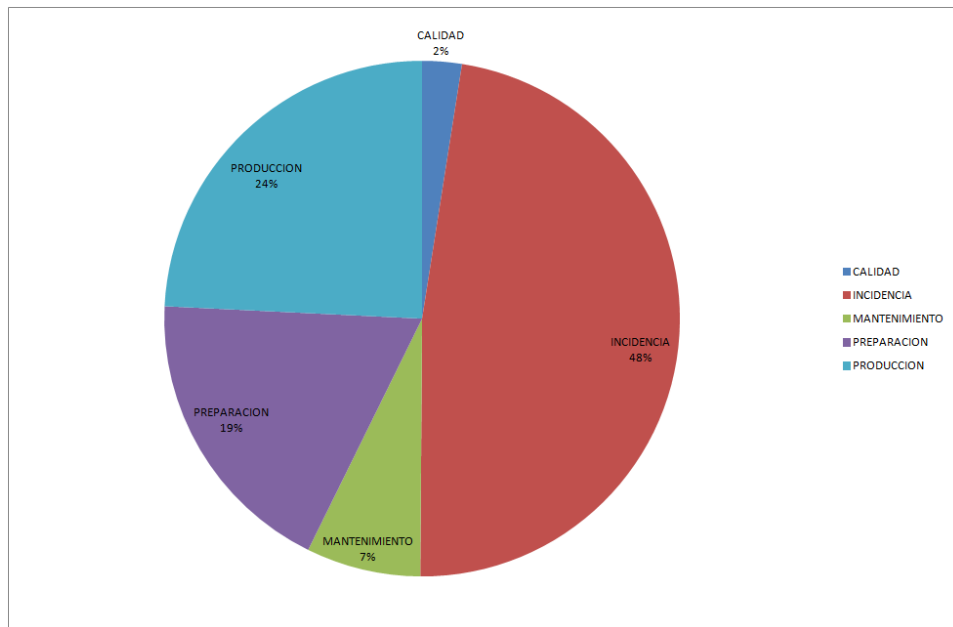
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 17. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.1 para la fabricación de la referencia pesada



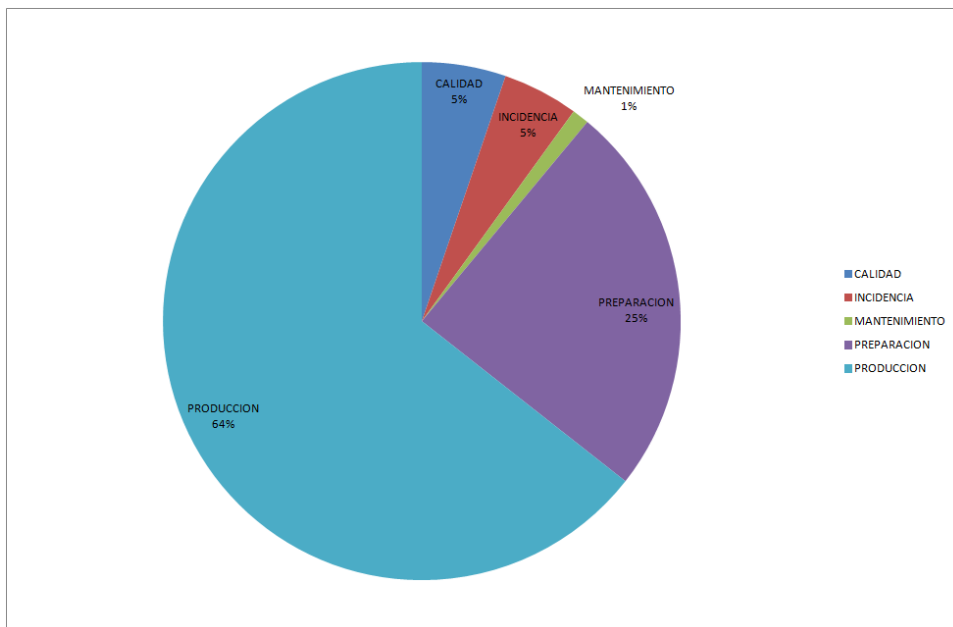
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 18. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No. 2 para la fabricación de la referencia pesada



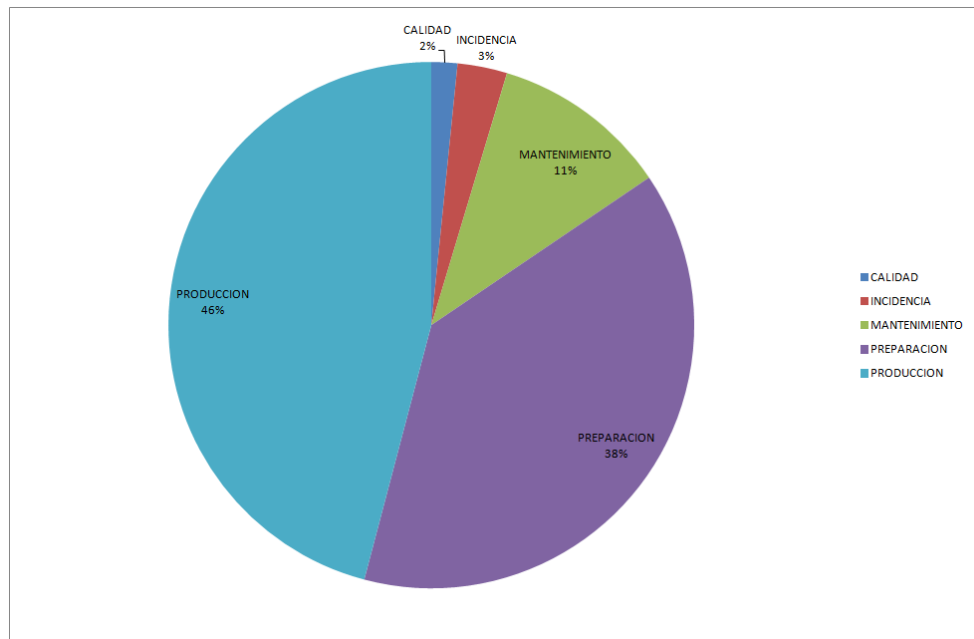
Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 19. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No. 3 para la fabricación de la referencia pesada



Fuente: Departamento de Producción JKL

Gráfico 20. Distribución de tiempos para las distintas actividades en la máquina No.3 para la fabricación de la referencia pesada



Fuente: Departamento de Producción JKL

5.3.2.1 Funciones de probabilidad para los tiempos de preparación. Se extraen las actividades clasificadas como preparación de la base de datos anteriormente mencionada y se analizan usando la herramienta graphical summary de minitab R14 (Ver anexos 2 al 9) Se identifica que para cada máquina los tiempos de preparación obedecen a un distribución normal (Valor $P > 0.05$).

Tabla 9. Datos de las distribuciones normales de los tiempos de preparación de las maquinas de la línea de producción M durante la fabricación de la referencia liviana.

Maquina	Media	Desviación estándar
1	71.98	32.85
2	75.259	33.53
3	68.39	12.94
4	91.22	30.47

Fuente: los autores

Tabla 10. Datos de las distribuciones normales de los tiempos de preparación de las maquinas de la línea de producción M durante la fabricación de la referencia pesada.

Maquina	Media	Desviación estándar
1	59.4	23.2
2	77.2	41.0
3	74.5	24.1
4	60.4	26.4

Fuente: los autores

5.3.2.2 Funciones de probabilidad para los tiempos de avería e incidencia Para estos tiempos se hace un análisis similar encontrando en cada caso (máquina) un valor $P < 0.05$ es decir no se ajusta a una distribución normal. Se utiliza entonces la herramienta statfit de promodel, pero los datos o bien no se ajustan a ninguna distribución, o las distribuciones sugeridas por el programa generan tiempos muy pequeños que no son lo más común de acuerdo a los datos obtenidos. Un ejemplo de esto se puede apreciar en la maquina 1, para esta se sacaron 61 datos correspondientes a tiempos de incidencia registrados durante la fabricación de la referencia pesada para el año 2013, el software statfit arroja como resultado que la distribución que más se ajusta es una lognormal con media 3.51min y desviación estándar de 1.12min después de hacer la simulación con 104 replicas, se observa que el máximo valor es de 3.51min, dato no esperado pues entre los valores obtenidos se tiene un máximo hasta de 360.5min. Se decide así crear para cada máquina distribuciones empíricas para cada actividad basadas en los *tiempos registrados para el año 2013*.

Para esto se toman los cuartiles de los tiempos obtenidos para las actividades de avería e incidencia y a partir de ahí se define las duraciones de las actividades para cada máquina, por ejemplo para la maquina No 1 cuando ocurra una incidencia, siempre será menor o igual que 360.5min, el 50% de las veces será menor o iguala 37.15 min y nunca será menor a 3.2min (ver tablas 12 a 15)

Tabla 11. Tiempos de incidencia de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia pesada para el año 2013, divididos en cuartiles.

Maquina				
Cuartil	1	2	3	4A
0	3.3	0.1	0.2	10.5
1	25.0	22.6	22.2	17.6
2	37.2	37.4	25.8	21.0
3	63.7	111.6	32.5	32.2
4	360.6	480.0	314.4	62.4

Fuente: los autores

Tabla 12. Tiempos de avería de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia pesada para el año 2013, divididos en cuartiles.

Maquina				
Cuartil	1	2	3	4A
0	8.9	9.6	1.2	12.2
1	18.4	17.1	20.4	16.9
2	49.5	30.6	30.7	32.1
3	133.2	48.7	76.3	279.7
4	336.1	69.8	95.6	480.0

Fuente: los autores

Tabla 13. Tiempos de incidencia de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia liviana para el año 2013, divididos en cuartiles

Maquina				
Cuartil	1	2	3	4
0	1.7	0.6	1.1	11.9
1	24.7	10.9	17.6	27.8
2	36.0	25.7	24.8	39.9
3	65.6	58.6	37.6	64.8
4	480.0	480.0	126.4	110.9

Fuente: los autores

Tabla 14. Tiempos de avería de las maquinas de la línea de producción M obtenidos durante la fabricación de la referencia liviana para el año 2013, divididos en cuartiles

Cuartil	Maquina		
	1.0	2.0	3.0
0	7.9	5.2	8.0
1	8.9	15.9	34.7
2	17.7	22.6	45.0
3	20.6	57.4	88.0
4	157.0	392.8	140.1

Fuente: los autores

5.3.3 Definición del tamaño de lote a simular. De acuerdo con los datos obtenidos del departamento de producción, los tamaños de lotes más utilizados para las referencias, fueron de 1, 7, 13 y 19 unidades.

5.3.5 Definición de los escenarios para validar el impacto en la disponibilidad que se tendría con la implementación de las propuestas de mejora, se propone la creación de un escenario para cada una de ellas (es decir el modelo de simulación de la línea modificado de acuerdo a la propuesta), para cada uno de estos escenarios se realizarán simulaciones para los siguientes tamaños de lote; 1 (el tamaño con el que se construyeron los VSM), 7, 13 y 19 unidades. Se tomará el tiempo de ciclo promedio obtenido después de realizar cada una de estas simulaciones (el número de replicas se define más adelante) y se usará para realizar las comparaciones entre las diferentes propuestas de mejora. Los escenarios planteados se definen a continuación:

- El primer escenario será la simulación del modelo de la línea, con los tiempos e incidencias de acuerdo a su estado actual. Este será el escenario base a partir del cual se crearán los demás escenarios.
- El segundo escenario será la simulación del modelo de la línea modificando la distribución de tiempo de preparación de la maquina No 3 (cuello de botella) de acuerdo a los datos obtenidos con el SMED.
- El tercer escenario será la simulación del modelo agregando una segunda máquina para la fabricación de los núcleos. Este escenario es excluyente del segundo, es decir la maquina 3 aun tendrá los tiempos de preparación de acuerdo a su estado original (actual).

- El cuarto escenario será la simulación del modelo modificando la posición física de la maquina No 3 (cuello de botella) de la planta A a la planta B. También es excluyente de los escenarios No 2 y 3.

Estos cuatro escenarios se generan para los modelos de simulación tanto de la referencia pesada como de la liviana.

5.3.4 Definición del numero de replicas. Cada replica del modelo corresponde a una simulación del proceso de fabricación (toda la línea) de lotes de N (1, 7, 13 o 19) unidades del producto M. Para definir el número de replicas se utiliza la metodología descrita por **(Itami, Darrel, Grigel, & Gimblett, 2005)** en donde se sugiere:

1. Partir de un número inicial de replicas, para este caso se realizan 10 simulaciones utilizando un tamaño de lote de 1 (escenario inicial).
2. Se define (a criterio del la persona que realiza la simulación) un intervalo de confianza para la variable de interés, en este caso se quiere que el promedio del tiempo de ciclo estimado este en un intervalo de +/- 2 horas.
3. Con la desviación estándar arrojada después simular el numero de replicas definidas en el punto 1 se procede a iterar de acuerdo a la siguiente formula (Itami, Darrel, Grigel, & Gimblett, 2005).

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Donde:

- $n^*(\beta)$ es el numero de replicas necesarias para lograr la precisión de β , para este caso son dos horas.
- n es el numero de replicas iniciales (en este caso 10)
- $t_{i-1, 1-\alpha/2}$ es el $1 - \alpha$ percentil de la distribución T de student, con $i-1$ grados de libertad.
- $s^2(n)$ es la varianza obtenida al realizar la simulación el numero de replicas iniciales.
- i es el numero de iteración (debe ser mayor que n)

Hasta encontrar el número de replicas que permitan tener el intervalo de confianza esperado.

Para obtener el número de replicas, se plantea un intervalo de confianza deseado de (+/- dos horas), se utiliza el escenario No 1 (base) simulándolo con un número de 10 iteraciones iniciales, aplicando el procedimiento anteriormente descrito obteniendo para el intervalo de confianza deseado un número de 104 replicas.

5.3.6 Validación del modelo. Para validar el modelo se espera que después de realizar la simulación (del escenario No 1) el tiempo de promedio de ciclo para un lote de una unidad, se encuentre dentro de un intervalo de confianza del 95%, dentro del cual también este el tiempo promedio determinístico esperado de acuerdo los VSM de las dos referencias.

Se realiza la simulación para las dos referencias (pesada y liviana), arrojando los siguientes resultados (ver tabla 16)

Tabla 15. Comparación entre los intervalos de confianza del tiempo de ciclo arrojado por la simulación para las dos referencias contra el tiempo del ciclo real para un lote de tamaño

TIPO DE REFERENCIA	TIEMPO DE CICLO		
	Ci-	VSM	Ci+
Liviana	9.12	9.16	9.33
Pesada	8.29	8.67	8.95

Fuente: Los autores

Se observa así que en los dos casos el tiempo real (de acuerdo al VSM), se encuentra dentro del intervalo de confianza arrojado por la simulación para el tiempo promedio de ciclo.

5.4 Validación de las propuestas

5.4.1 Aplicación de SMED para la reducción de tiempos de preparación para la máquina No 3. Para verificar (por medio de la simulación) la mejora del tiempo de ciclo, es necesario utilizar alguna distribución de probabilidad que se ajuste a los tiempos de preparación que se tendría si se aplicara la propuesta de SMED. Se decide utilizar una distribución triangular utilizando como medida de tendencia central el valor obtenido (34 minutos) después de realizar el estudio de tiempos para el SMED, como valor máximo, se escogen 44 minutos y como mínimo 24 minutos es decir el valor de tendencia central más o menos diez minutos. Se escoge esta distribución según recomendación de la literatura (**Banks, 1998**) para proceder cuando no se tengan datos.

Se realiza la simulación para diferentes tamaños de lote (1,7,13 y 19 unidades) obteniéndose los siguientes resultados (ver tabla 17).

Tabla 16. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de aplicar SMED tanto para la referencia liviana como para la pesada

TAMAÑO DE LOTE	REFERENCIA PESADA			REFERENCIA LIVIANA		
	ANTES	DESPUES	AHORRO	ANTES	DESPUES	AHORRO
1	8.62	7.26	16%	8.85	7.2	19%
7	22.33	20.13	10%	15.89	14.79	7%
13	35.63	33.01	7%	22.74	21.77	4%
19	48.91	47	4%	30.41	29.18	4%

Fuente: Los autores

5.4.2 Utilización de otra máquina para realizar los núcleos. En la planta se tiene al lado de la máquina No.3 una máquina de características muy similares que en teoría es capaz de fabricar los núcleos, si bien nunca ha fabricado este tipo de material, de acuerdo con el ingeniero de procesos de JKL si lo hiciera, tendría el mismo tiempo de ciclo que la máquina No.3.

Para realizar la simulación se crea en el modelo una máquina con las mismas características de la máquina No.3, llamada máquina 3A, para que realice el proceso de fabricación de los núcleos.

Tabla 17. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de habilitar una segunda máquina para la fabricación de los núcleos tanto para la referencia liviana como para la pesada

TAMAÑO DE LOTE	Referencia pesada			Referencia liviana		
	ANTES	DESPUES	AHORRO	ANTES	DESPUES	AHORRO
1	8.62	6.97	19%	8.85	7.07	20%
7	22.33	14.73	34%	15.89	13.53	15%
13	35.63	23.26	35%	22.74	20.15	11%
19	48.91	29.84	39%	30.41	25.91	15%

Fuente: Los autores

El tiempo de ciclo se acorta dado que cuando se tienen actividades paralelas, este es igual al valor máximo de tiempo ciclo entre las estaciones que ejecutan la actividad (Laguna & Marklund, 2005).

5.4.3 Reubicación de la máquina No.3 hacia la planta B. Se plantea otra propuesta para mejorar los tiempos de ciclo de la línea, esta es reubicar la máquina No.3 en la planta B (donde se encuentran las máquinas 1 y 2) para disminuir los tiempos perdidos en el transporte.

Después de realizar la simulación con esta reforma se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de reubicar la máquina No.3 en la planta B tanto para la referencia liviana como para la pesada

TAMAÑO DE LOTE	Referencia pesada			Referencia liviana		
	ANTES	DESPUES	AHORRO	ANTES	DESPUES	AHORRO
1	8.62	8.35	3%	8.85	8.13	8%
7	22.33	20.23	9%	15.89	19.43	-22%
13	35.63	32.19	10%	22.74	28.98	-27%
19	48.91	43.36	11%	30.41	38.86	-28%

Fuente: Los autores

5.4.4 Aplicación del SMED mas la utilización de otra máquina para la fabricación de los núcleos. Finalmente se plantea un quinto escenario donde se realiza la simulación del sistema aplicando simultáneamente dos propuestas de mejora; el SMED y la utilización de la segunda máquina, dedicada a la fabricación de los núcleos. Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 19. Comparación de tiempos de ciclo antes y después de aplicar el SMED y utilizar la segunda máquina para la fabricación de los núcleos tanto para la referencia liviana como para la pesada

TAMAÑO DE LOTE	Referencia pesada			Referencia liviana		
	ANTES	DESPUES	AHORRO	ANTES	DESPUES	AHORRO
1	8.62	6.42	26%	8.85	6.72	24%
7	22.33	15	33%	15.89	12.8	19%
13	35.63	23.01	35%	22.74	19.7	13%
19	48.91	30.63	37%	30.41	25.37	17%

Fuente: Los autores

Se tiene pues que para obtener el mejor ahorro en el tiempo de ciclo, se podría implementar el SMED en la maquina No 3 al mismo tiempo de habilitar la maquina en paralelo para la fabricacion de los nucleos. Se presenta un resumen de los tiempos de ciclo encontrados en cada escenario por tamaño de lote y por referencia (ver tablas 21 y 22)

Tabla 20. Comparación de tiempos de ciclo entre los distintos escenarios simulados para la fabricación de la referencia pesada.

TAMAÑO DE LOTE	Referencia pesada				
	Estado actual	Escenario 1 SMED	Escenario 2 PARALELO	Escenario 3 REUBICACION	Escenario 4 SMED+PARALELO
1	8.62	7.26	6.97	8.35	6.42
7	22.33	20.13	14.73	20.23	15
13	35.63	33.01	23.26	32.19	23.01
19	48.91	47	29.84	43.36	30.63

Fuente: Los autores

Tabla 21. Comparación de tiempos de ciclo entre los distintos escenarios simulados para la fabricación de la referencia liviana.

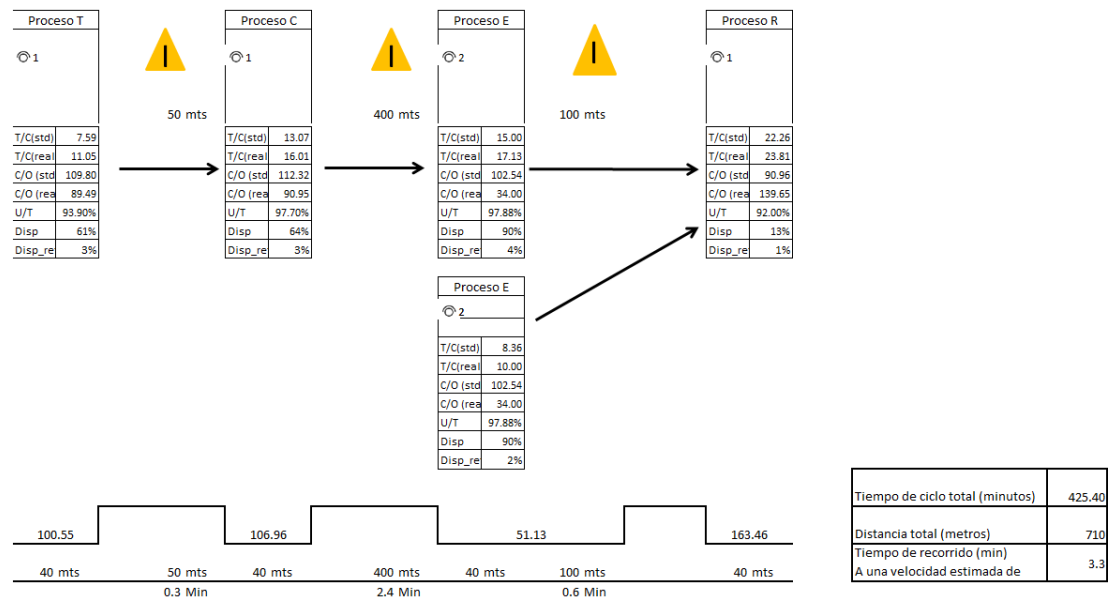
TAMAÑO DE LOTE	Referencia liviana				
	Estado actual	Escenario 1 SMED	Escenario 2 PARALELO	Escenario 3 REUBICACION	Escenario 4 SMED+PARALELO
1	8.85	7.2	7.07	8.13	6.72
7	15.89	14.79	13.53	19.43	12.8
13	22.74	21.77	20.15	28.98	19.7
19	30.41	29.18	25.91	38.86	25.37

Fuente: Los autores

Se puede ver graficamente el impacto de cada mejora para cada tamaño de lote en el tiempo de ciclo en los anexos 12 y 13.

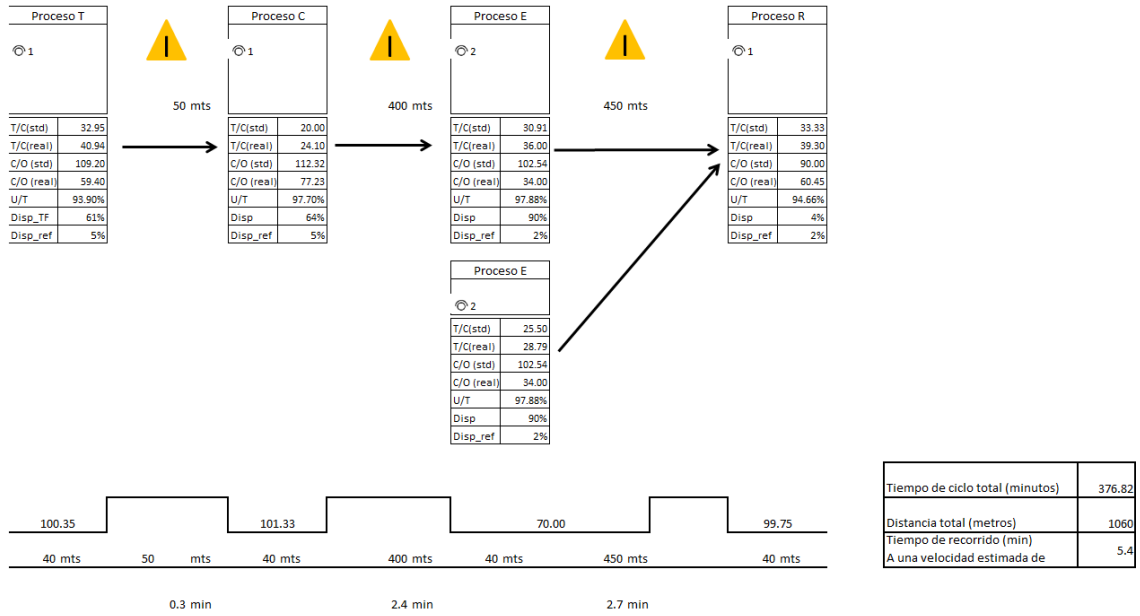
Se presentan entonces los VSM futuros tanto para la referencia liviana como para la pesada implementando la propuesta de mejora del SMED mas la maquina en paralelo.

Figura 3. VSM del estado futuro de la línea para la fabricación de la referencia liviana, implementando el SMED en la máquina No.3 y utilizando la máquina 3A para la fabricación de los núcleos.



Fuente: Los autores

Figura 4. VSM del estado futuro de la línea para la fabricación de la referencia pesada, implementando el SMED en la máquina No 3 y utilizando la máquina 3A para la fabricación de los núcleos.



Fuente: Los autores

6. CONCLUSIONES

Después de analizar la línea de producción M, se encontró en la maquina 3 la restricción de todo el sistema. Con el objetivo de aumentar la disponibilidad y por ende el OEE, se encuentra que mejorando (disminuyendo) el tiempo de ciclo de la restricción (maquina 3) aumenta la disponibilidad de toda la línea de producción.

Del trabajo que se realizo en la línea M se pueden esperar disminuciones significativas de hasta un 24% del tiempo de ciclo de acuerdo al modelo de simulación (ver tabla 20) en el tiempo de ciclo de la línea, si se aplican las propuestas de mejora de la reducción de tiempos de preparación aplicando SMED y habilitando una maquina adicional (para el proceso E) para la fabricación de los núcleos.

Se desarrollo una metodología para la identificación de oportunidades de mejora para una línea de producción en la empresa JKL, para esto se utilizaron conceptos, técnicas y herramientas de diferentes “filosofías” como lean manufacturing, teoría de restricciones, análisis estadístico y simulación. Esta metodología consiste en:

1. Utilizar la base de datos de registro en línea de la empresa para adquirir la data de tiempos de cada máquina
2. Estratificar los productos de acuerdo a su volumen de ventas.
3. De los productos con mayor volumen de ventas, seleccionar aquellos de mayor frecuencia de fabricación.
4. Del grupo anterior seleccionar aquellas referencias (1 o 2) que tengan el mayor numero de procesos de la línea estudiada.
5. Para las referencias seleccionadas se debe identificar la máquina que tenga el mayor tiempo de ciclo, se sugiere en este punto usar la herramienta VSM (Value Stream Mapping).
6. Con los datos obtenidos identificar donde se tienen las actividades donde se tenga la mayor cantidad de tiempos perdidos.
7. Proponer para los tiempos más significativos herramientas aplicables de mejoramiento (ejemplo: si la mayor cantidad de tiempo perdido se encuentra en las preparaciones se puede implementar SMED, si es en actividades de mantenimiento, TPM,etc.).

8. Definir como aumentar la capacidad de la máquina cuello de botella, puede ser por ejemplo reubicándola (en caso tal que la línea esta compuesta por máquinas separadas por grandes distancias) o poniendo más máquinas en paralelo.
9. Validar las propuestas antes de implementarlas por ejemplo con un modelo de simulación, o empezar a implementar las más sencillas (ejemplo SMED que tienen un costo muy bajo de inversión).
10. Una vez implementadas las mejoras se debe volver al paso No.5 para validar, que la máquina ya no sea una restricción y para así atacar la nueva restricción que aparezca.

En el presente trabajo solo se llego a implementar hasta el punto nueve de esta metodología.

La metodología propuesta puede escalarse a otras líneas de JKL que tengan problemas de capacidad, ya que las familias del producto que fabrica se componen básicamente de los mismos procesos con los mismos tipos de máquinas.

Al hacer lotes pequeños, el modelo de simulación probó que el aumento de disponibilidad (disminución del tiempo de ciclo) es mayor en estos casos, esto conduciría a nivelar la programación de la producción para fabricar varias referencias de productos en un mismo periodo de tiempo con lotes pequeños en vez de fabricar corridas largas de la misma referencia en el mismo periodo, sin embargo es clave trabajar en mejorar y estandarizar los procesos de preparación de todas las máquinas de la línea ya que se observa que son largos y tienen mucha variabilidad.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda a JKL, implementar paulatinamente las mejoras propuestas en este trabajo empezando por las de menor costo (SMED) continuando con las demás en la medida que la demanda (o el pronóstico de la demanda) indique que se requiere aumentar aún más la capacidad de la línea.

Trabajar en mejorar los tiempos de ciclo de las máquinas No.4 y 4A ya que se observa que estas serán las próximas restricciones del sistema.

En caso de poner la segunda máquina en paralelo, se debe caracterizar para las referencias estudiadas, es decir se debe definir su tiempo de ciclo (de acuerdo a lo investigado con el departamento de producción este debe ser menor o igual al de la máquina 3), además se debe implementar también el SMED para garantizar aun más el aumento del tiempo de ciclo.

La reubicación de la máquina No.3 a la planta B debe estar sujeta a mas evaluaciones y estudios para evaluar el costo del traslado contra el ahorro en transporte y el aumento en el tiempo de ciclo de la línea. Para que esta opción tenga un verdadero impacto se debe:

- Estudiar la posibilidad de trasladar la máquina No.4 a la planta B
- Modificar la máquina 4A para que pueda procesar las referencias livianas.
- Adquirir una máquina que pueda procesar ambos tipos de referencias ubicándola en la planta B.

Volver más confiable el sistema de recolección de datos, se encontraron tiempos atípicos que claramente indican un error en el ingreso de los datos.

Estudiar la posibilidad de capturar la velocidad de las máquinas en línea, ya que el valor promedio es un medida susceptible a los extremos es mejor conocer el comportamiento de esta variable y trabajar con intervalos de confianza para de esta manera poder analizar de manera confiable los tiempos de ciclo de las máquinas.

Implementar la metodología propuesta en mas líneas de producción

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo Soto, A. M., & Gomez Schouben, P. C. (2012). *PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA OPERACIÓN DE UNA ZONA FRANCA MEDIANTE LA APLICACION DE HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING*. Santiago de Cali.
- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation*. John Wiley & sons, Inc.
- Cox III, J., & Schleier, J. (2000). *Theory of constraints handbook*. Mc Graw Hill.
- Cruz Ochoa, I. J., & Burbano Lopez, J. A. (2012). *REDISEÑO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING. CASO DE ESTUDIO SECTOR DE MEZCLAS DE INGREDIENTES PARA PANADERÍA INDUSTRIAS XYZ*. Santiago de Cali.
- Departamento del control de la produccion. (2013). *Analisis en tiempos de manufactura*. Cali: JKL.
- Godoy Garzon, H., & Mercado Gomez, J. A. (2011). *GUIA DE OPTIMIZACIÓN DE DISPONIBILIDAD POR MANTENIMIENTO DE UNA MAQUINA ESMALTADORA, CASO EMPRESA PRODUCTORA DE PAPEL*. Santiago de Cali.
- Goldratt, E. M. (1990). *What is this thing called THEORY OF CONSTRAINTS and how should it be implemented?* North River Press.
- Gutierrez, H., & De la vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. MC graw hill.
- Itami, R. M., Darrel, Z., Grigel, F., & Gimblett, R. (2005). Generating confidence intervals for spatial simulations –determining the number of replications for spatial terminating simulations. *International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation* (págs. 141-148). In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005.
- James F. Cox III & John G. Schleier, J. (2010). *Theory of Constrains Handbook*. En J. James F. Cox III & John G. Schleier, *Theory of Constrains Handbook* (pág. 1172). USA: McGraw-Hill.
- KRICK, E. V. (2000). *INGENIERIA DE METODOS*. En J. W. SONS, *METHODS ENGINEERING* (pág. 541). MEXICO, D.F.: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.

- Laguna, M., & Marklund, J. (2005). *Business process modeling, simulation, and design*. Pearson/Prentice Hall.
- Lieberman, H. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mc Graw Hill.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way*. Mc Graw Hill.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2001). *Improving changeover performance*. Butterworth Heinemann.
- Nash, M. A., & Poling, S. R. (2008). *Mapping the total value stream a comprehensive guide for production and transactional processes*. CRC Press.
- Ohno, T. (1987). *Taiichi Ohnos Workplace Management*. Gemba Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED System*. Productivity press.
- Shingo, S. (1979). *A study of the Toyota production system*. CRC.
- Valencia, M., & Quijano Galvis, F. (2012). *TAYLOR REFORZADO: APLICACIÓN DE CONCEPTOS DE GESTIÓN Y LAS HERRAMIENTAS DE ESTUDIO DE METODOS DE TRABAJO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL DEPARTAMENTO DE JARABE DE LA EMPRESA IDM*. Santiago de Cali.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free press.
- Edward V. Krick. (2000). *Ingeniería de Métodos*. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- James F. Cox III and John G. Schleier, Jr. (2010). *Theory of Constraints Handbook*. McGraw-Hill.
- Shingo, S. (1983). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press

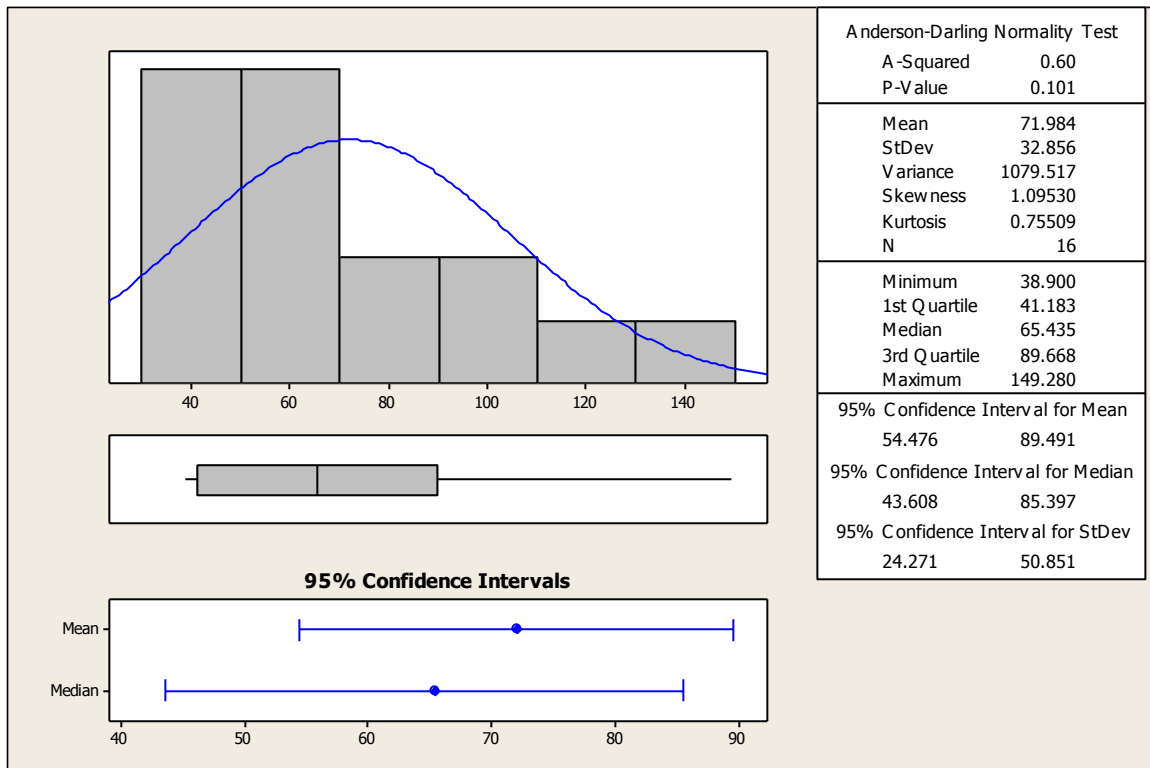
ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso con la descripción de cada etapa

Proceso	símbolo	Descripción
	T	<p>Consiste en reducir por etapas el diámetro de la materia prima. El proceso se realiza hasta lograr el diámetro deseado en el producto semielaborado “T” para el proceso posterior. El número de unidades producidas dependen del tipo de referencia que se esté fabricando, cuando esta es “pesada” el número de unidades a producir es 19 veces las unidades finales cuando la referencia es “liviana” este factor es de 7 veces, por ejemplo, si se requirieran 1000 unidades de producto pesado, el proceso T debería fabricar 19000 unidades, en caso tal ser liviana, fabricaría 7000.</p> <p>La máquina que realiza este proceso está ubicada en la planta B</p>
	C	<p>Proceso en el que se agrupan los productos semielaborados “T” del proceso anterior de acuerdo al tipo de referencia (si es liviana agrupa 7 unidades del proceso T por cada unidad de producto terminado y si es pesada, agrupa 19).</p> <p>La máquina que realiza este proceso está ubicada en la planta B</p>
	E	<p>En este proceso las materias primas se funden y aplican como recubrimiento sobre el semielaborado “C”. Es importante tener en cuenta que este proceso se ejecuta primero para fabricar el número de capas (variable de acuerdo a las especificaciones del producto) para luego fabricar el núcleo.</p> <p>La máquina que realiza este proceso está ubicada en la planta A.</p>
	R	<p>Proceso en el que se agrupan (2 o más) productos semielaborados “E” del proceso anterior. En este caso se utilizan dos máquinas diferentes, una para las referencias pesadas ubicada en la planta B y otra para las referencias livianas ubicada en la planta A.</p>

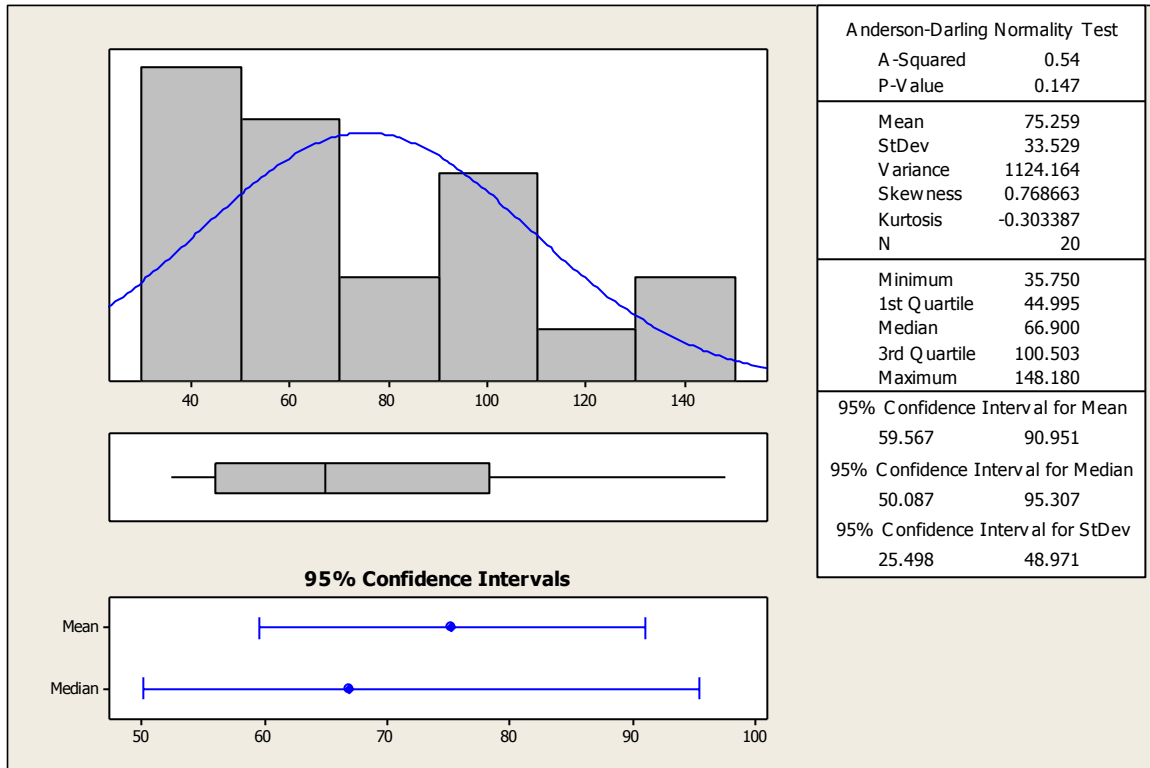
Fuente: Los autores

Anexo 2. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.1 para la fabricación de la referencia liviana.



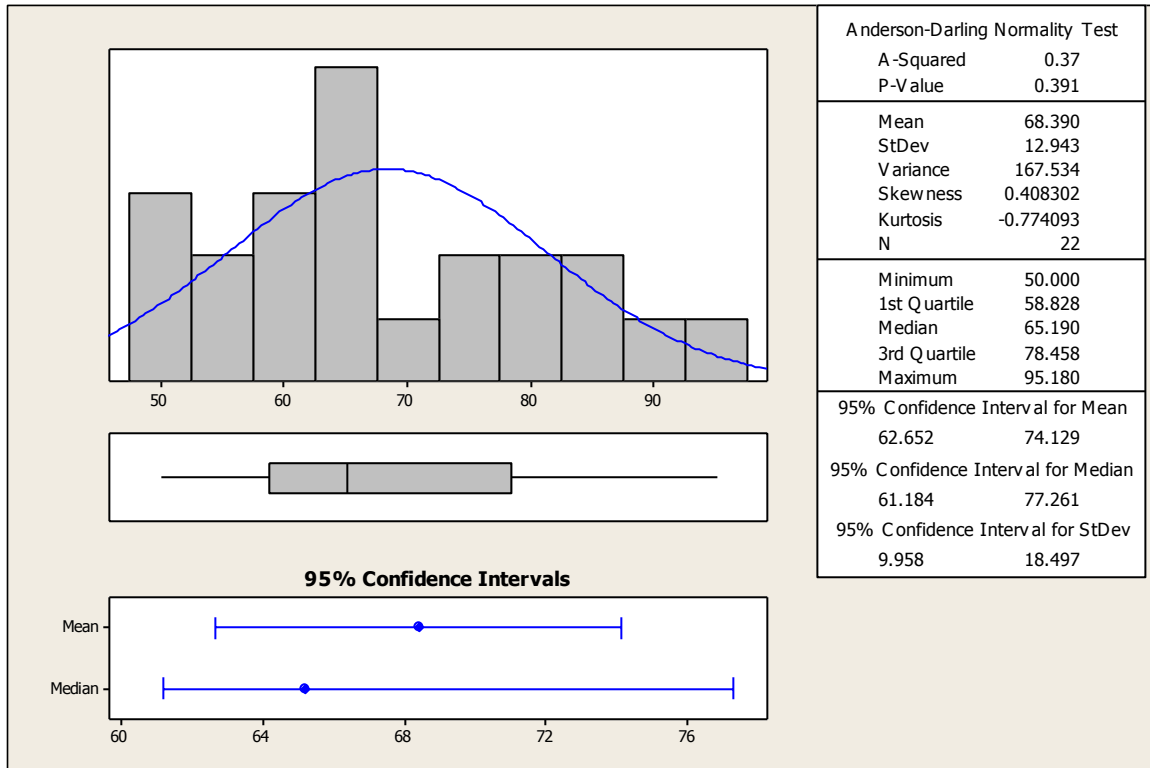
Fuente: los autores

Anexo 3. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia liviana.



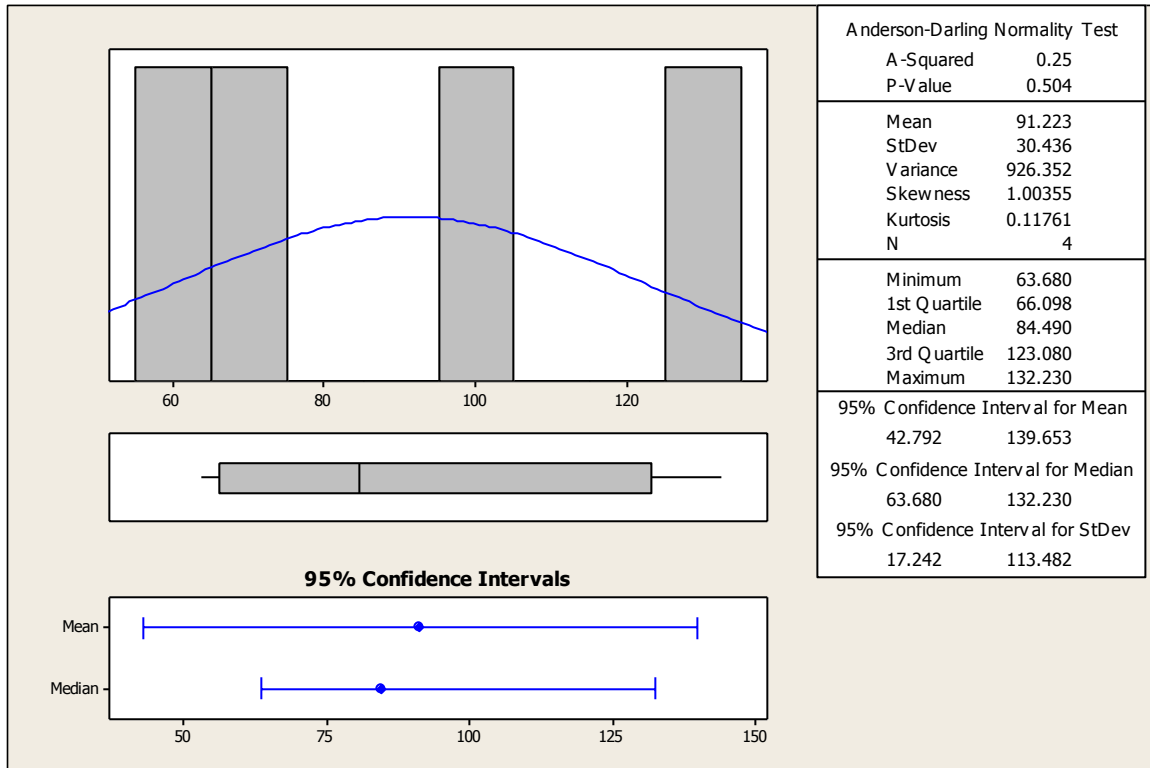
Fuente: los autores

Anexo 4. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.3 para la fabricación de la referencia liviana.



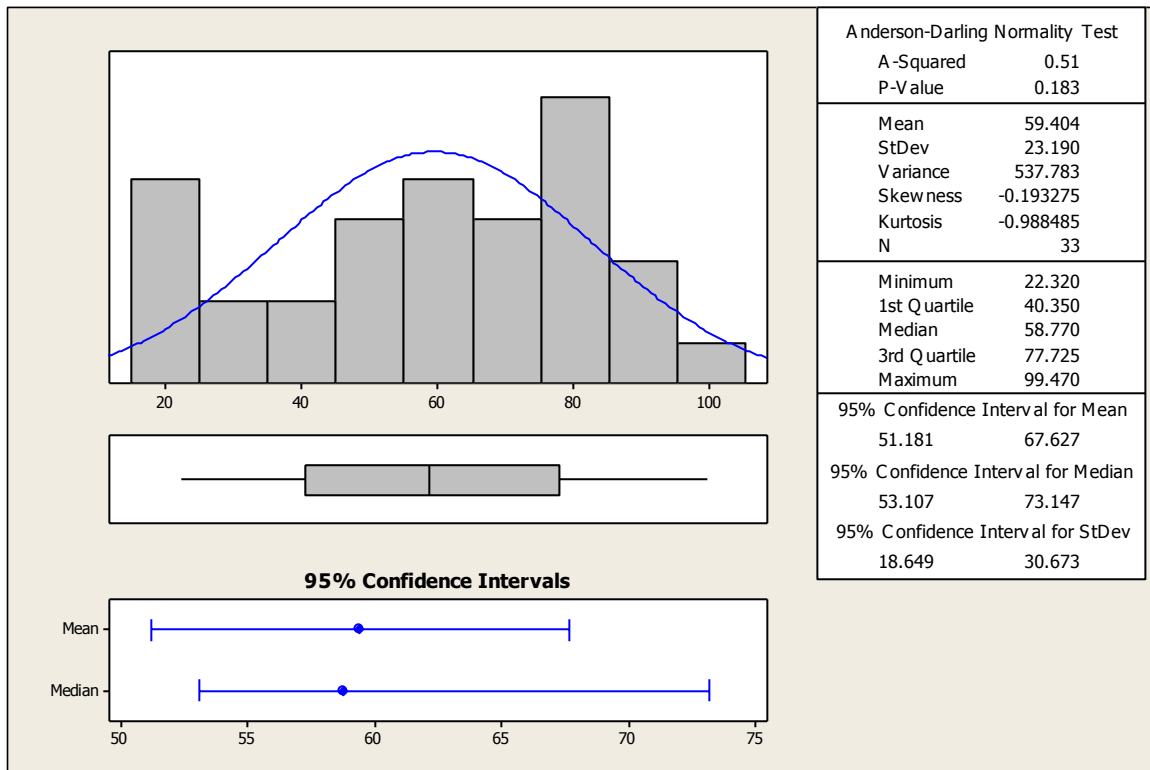
Fuente: Los autores

Anexo 5. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.4 para la fabricación de la referencia liviana.



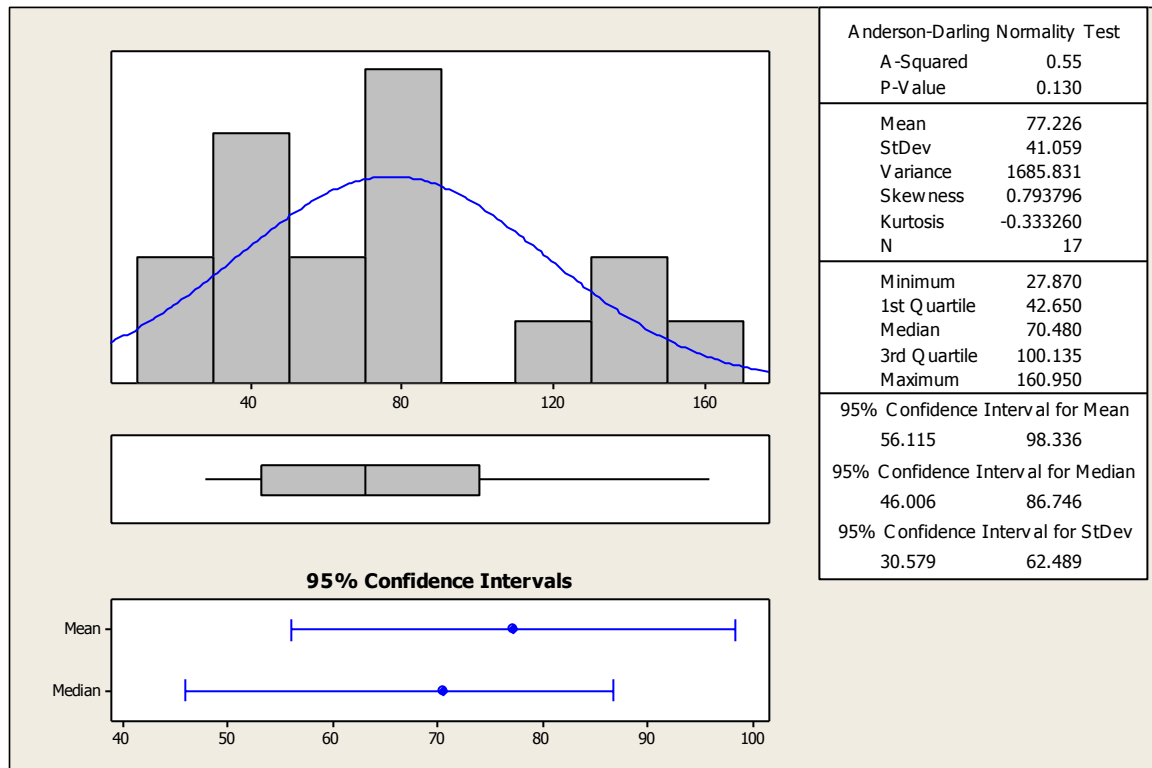
Fuente: Los autores

Anexo 6. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.1 para la fabricación de la referencia pesada.



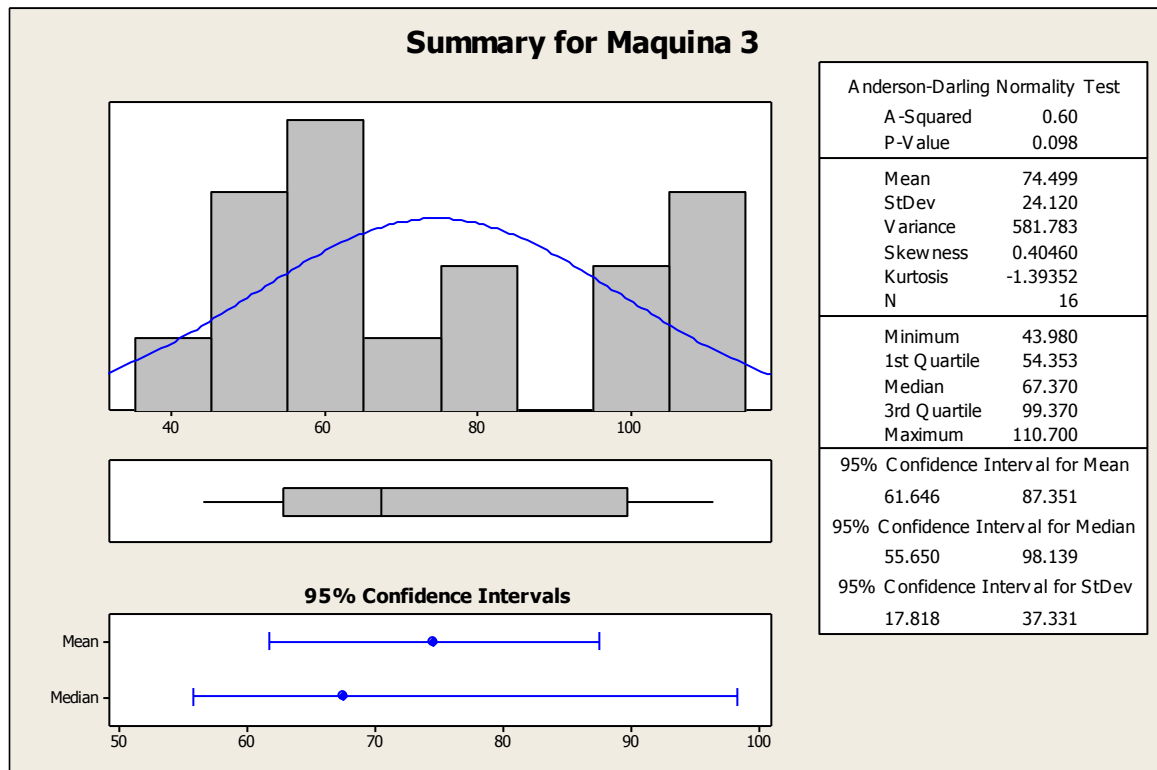
Fuente: Los autores

Anexo 7. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia pesada.



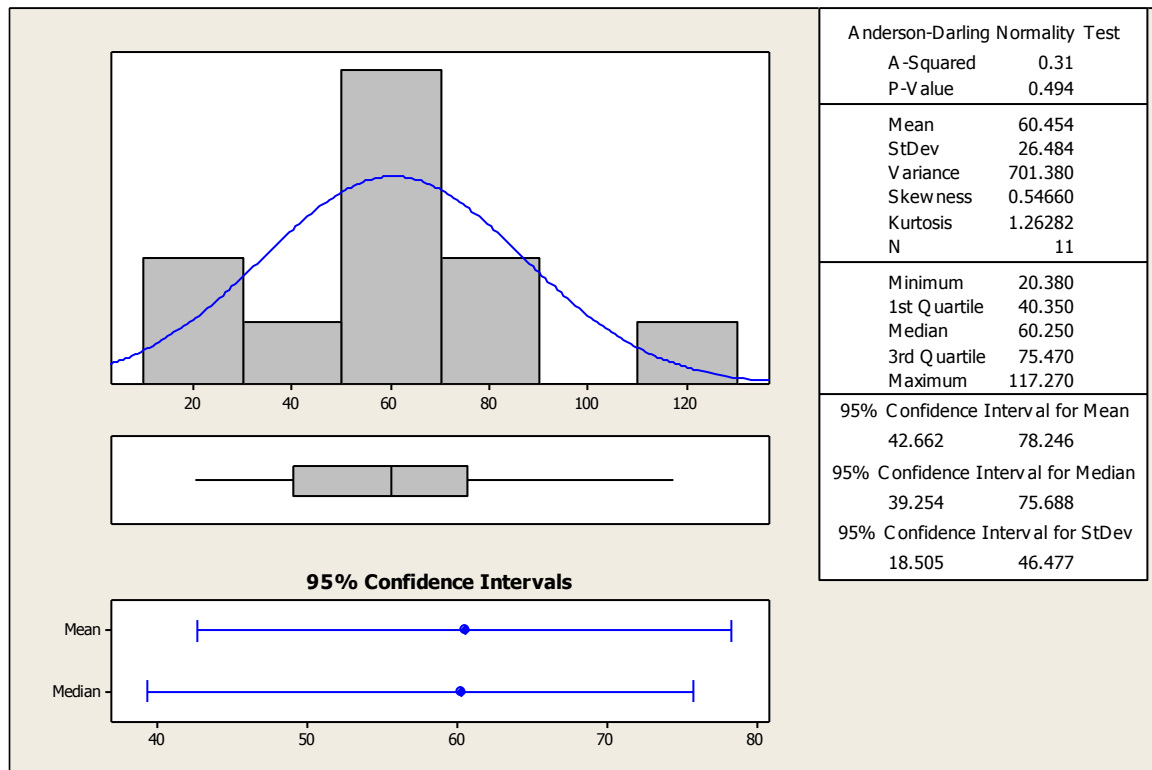
Fuente: Los autores

Anexo 8. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.2 para la fabricación de la referencia pesada.



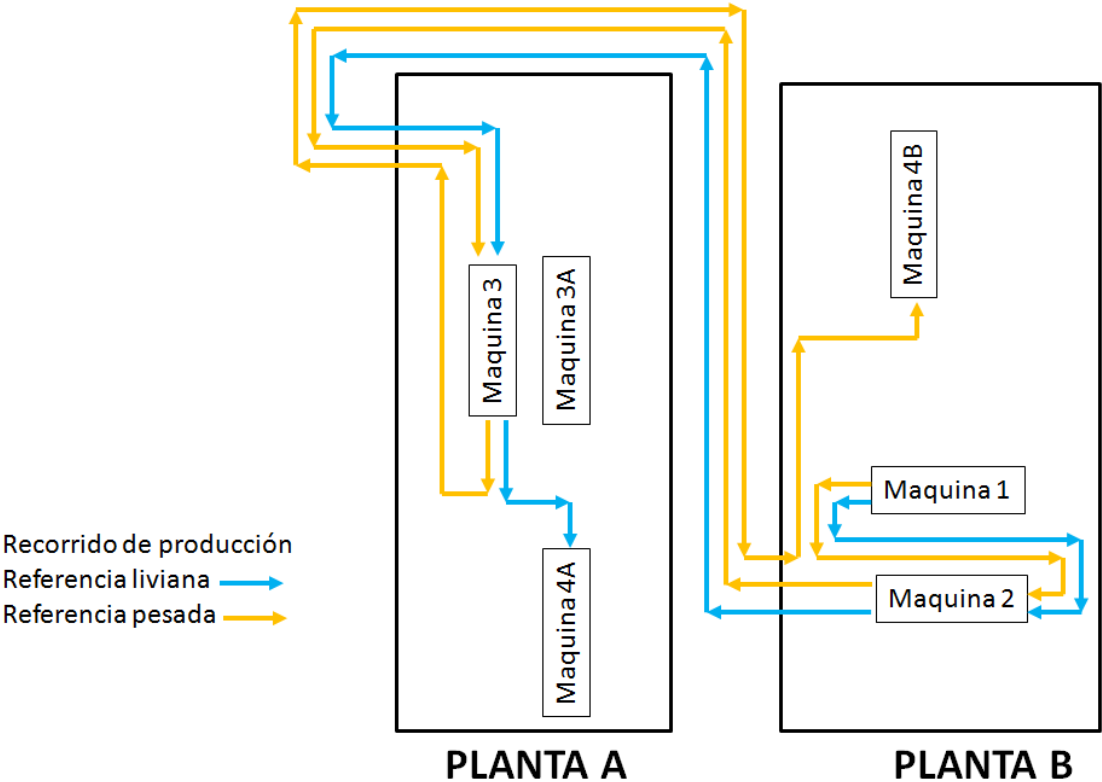
Fuente: Los autores

Anexo 9. Resumen gráfico del análisis estadístico de tiempos de preparación para la máquina No.4 para la fabricación de la referencia pesada



Fuente: Los autores

Anexo 10. Layout de la línea M.



Fuente: Los autores

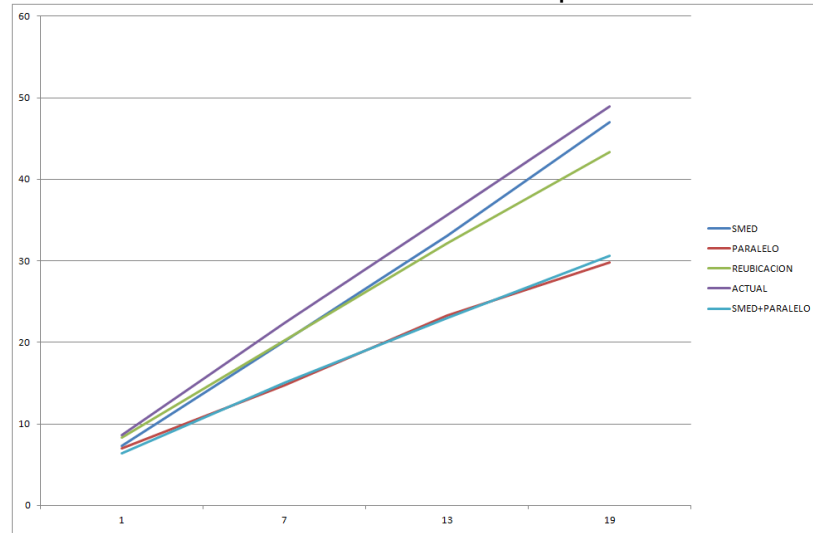
Anexo 11. Resumen de actividades de preparación de la maquina No 3

No.	Descripción	Interna	Externa	Observaciones
1	Leer y analizar el programa de la siguiente orden de producción		3 min	
2	Identificar las materias primas a utilizar en la siguiente orden de producción		2 min	
3	Solicitar al operador de montacarga el traslado y ubicación de las materias primas a utilizar en la máquina correspondiente a la siguiente orden de producción		2 min	
4	Identificar las estibas de alimentación (producto en proceso C) relacionadas en el programa de producción		4 min	
5	Solicitar al operador de montacarga el traslado y ubicación de las estibas de alimentación a utilizar en la máquina		5 min	El proceso E puede alojar hasta dos estibas de alimentación en la máquina
6	Detener el proceso de la orden de producción actual	1 min		La ultima parte del elemento actual debe quedar en el cabezal
7	Colocar estiba "master o de tiro" en el alimentador disponible de la máquina	2 min		Esta máquina tiene dos alimentadores
8	Retirar estiba vacía del alimentador en uso	1 min		
9	Colocar estiba de alimentación de la siguiente orden de producción	2 min		
10	Llevar elemento desde la estiba "master o de tiro" hasta cabezal de la máquina	1 min		El elemento de la estiba "master o de tiro" tiene capacidad para jalar cualquier elemento o producto en proceso C
11	Atar última parte del elemento actual al elemento "master o de tiro"	1 min		Garantizar un buen amarre para prevenir roturas de los elementos
12	Llevar elemento actual hasta la estiba de evacuación	1 min		
13	Retirar estiba de evacuación	2 min		
14	Colocar tarjeta de identificación a la estiba de evacuación		1 min	
15	Colocar estiba vacía para recibir el elemento "master o de tiro"	2 min		
16	Colocar estiba vacía para recibir el elemento una vez arranque el proceso de la siguiente orden de producción	2 min		

Tabla 6. (continuación)				
17	Retirar materia prima de la orden de producción actual de la máquina	3 min		Este proceso es necesario si las materias primas son diferentes entre ordenes de producción
18	Suspender alimentación de materia prima en la máquina	1 min		
19	Evacuar toda la materia prima de la máquina (purgar)	2 min		Este proceso debe llevarse a cabo hasta que no salga material procesado de la máquina
20	Desconectar cabezal	1 min		
21	Abrir mordazas soporte del cabezal	1 min		Asegurarse que la máquina esté parada
22	Retirar cabezal	1 min		
23	Retirar filtro	1 min		
24	Limpiar filtro	2 min		
25	Retirar soporte utillaje exterior de la orden de producción actual	2 min		
26	Retirar utillaje exterior de la orden de producción actual	2 min		
27	Limpiar utillaje exterior de la orden de producción actual	3 min		
28	Instalar mecanismo expulsión utillaje interior	3 min		
29	Retirar utillaje interior	2 min		
30	Limpiar utillaje interior	3 min		
31	Limpiar cabezal	10 min		
33	Colocar filtro	1 min		
34	Colocar cabezal	2 min		
35	Cerrar mordazas soporte del cabezal	1 min		
36	Instalar utillaje interior de la siguiente orden de producción	2 min		
37	Instalar utillaje exterior de la siguiente orden de producción	2 min		
38	Conectar cabezal	1 min		Conexión eléctrica
39	Llevar elemento desde la estiba de alimentación hasta el cabezal	1 min		
40	Pasar elemento a través del cabezal	1 min		
41	Atar elemento actual al elemento "master o de tiro"	1 min		
42	Alimentar la máquina con la materia prima correspondiente al nuevo programa de producción	2 min		
Tabla 6. (continuación)				

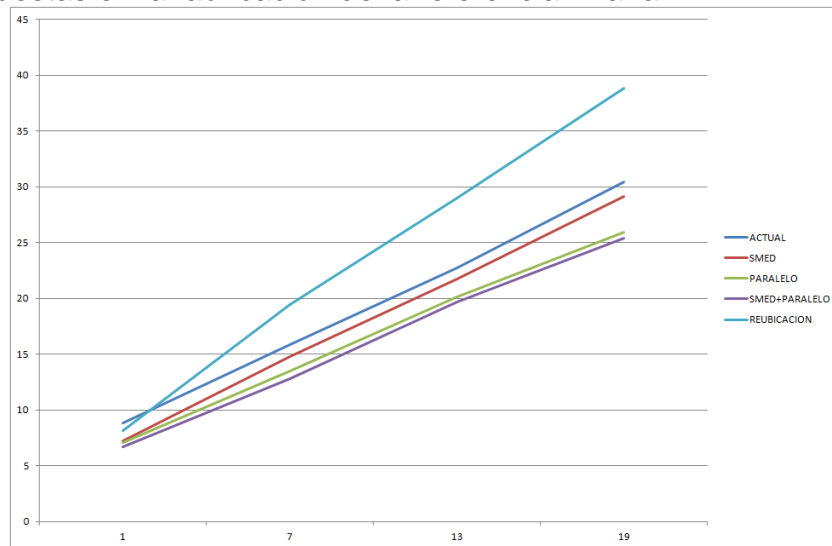
43	Iniciar operación de la máquina	1 min		Marcha inicial (aproximadamente 10% de la velocidad nominal)
45	Verificar dimensiones y centrado		10 min	
46	Ajustar centro y dimensiones	3 min		
47	Instalar marcas		2 min	
48	Iniciar proceso	1 min		
49	Retirar estiba con el elemento "master o de tiro"	2 min		

Anexo 12. Comparativo de tiempos de ciclo contra tamaño de lote para cada una de las propuestas en la fabricación de la referencia pesada



Fuente: Los autores

Anexo 13. Comparativo de tiempos de ciclo contra tamaño de lote para cada una de las propuestas en la fabricación de la referencia liviana



Fuente: Los autores