

Simulación con Witness y Lean Thinking para incrementar indicadores de desempeño en una célula de manufactura

RESUMEN: Se generaron y evaluaron diferentes condiciones de trabajo con el software Witness. El principal objetivo fue lograr la estandarización de operaciones para el mejoramiento en los Indicadores de Desempeño de Productividad en una empresa de clase mundial orientada a la fabricación de tijeras de mano para jardinería, agricultura, paisajismo y poda de tipo profesional, para su posterior exportación.

La metodología desarrollada para el presente estudio se fundamenta en los cinco principios lean que direccionan el trabajo para la obtención de las condicionantes de mayor trascendencia en el contexto industrial; técnicas como el diagrama de flujo de proceso, la hoja combinada de trabajo estándar y la determinación de takt time permitieron dicha labor.

El trabajo proporciona como alternativa para el mejoramiento de los Indicadores de Desempeño la redistribución en la célula de manufactura, la secuencia de trabajo estandarizada y la cantidad específica de piezas a producir en cada ciclo de trabajo. Con estas mejoras se logra obtener un beneficio en la producción del 48.25%.

PALABRAS CLAVE: Indicadores de Desempeño, Lean Thinking, Manufactura Celular, Simulación con Witness.



Colaboración

N.I. Escobar Pantoja, Instituto Tecnológico de Orizaba; M.J. Oliveros Colay, Universidad de Zaragoza, España; G. Cortés Robles, G. Cabrera Zepeda, Instituto Tecnológico de Orizaba

ABSTRACT: Different working conditions were generated and evaluated with the Witness software. The main objective was to achieve the standardization of operations and the improvement in Productivity Performance Indicators in a world class company related to the manufacture of hand scissors for gardening, agriculture, landscaping and professional pruning, to being exported.

The developed methodology for this study is based on the five Lean principles that direct the work to obtain the most relevant conditions in the industrial context; Techniques such as the process flow diagram, the combined standard work sheet and the estimation of takt time made this work possible.

This study provides as an alternative for the improvement of the Performance Indicators the redistribution of the manufacturing cell, the standardized work sequence and the specific amount of pieces to producing in each work cycle. With these improvements, a profit of 48.25% is obtained in the production.

KEYWORDS: Performance Indicators, Lean Thinking, Manufacturing Cell, Simulation with Witness.

INTRODUCCIÓN

El concepto y percepción que hoy en día se tiene acerca de los indicadores de desempeño tiene su origen a la par de los cambios y evolución que con el paso de los años han enfrentado las empresas. Pensadores de la categoría de Brian H. Maskell, Robert S. Kaplan y Thomas G. Gunn, han gestionado nuevas alternativas ante los retos y dinamismo organizacional contemporáneo.

Para contextualizar y abordar a los indicadores de desempeño es indispensable identificar su razón de ser: la productividad. El concepto de productividad tiene diferentes enfoques a partir del área, profesión u oficio en cuestión. Sin embargo, a pesar de todos estos rasgos excluyentes y diferenciadores, hoy en día la productividad para un sistema se define como “la relación que existe entre las salidas y las entradas del sistema en un periodo de tiempo definido” (Bateman & Snell, 2009). Con el pasode los años la productividad ha tenido la siguiente evolución (Ramírez, H.M., 1992):

- **Siglo XIX:** las empresas pretendían producir una gran cantidad de productos.
- **Año 1920-1970:** las empresas pretendían producir una gran cantidad de productos empleando pocos recursos.
- **Año 1970-1986:** se buscaba producir una gran cantidad de productos, utilizando pocos recursos y satisfaciendo la necesidad del cliente.
- **Año 1986-1995:** Se producía una gran cantidad de productos, con pocos recursos, que satisfagan al cliente y con el menor tiempo de entrega.
- **Año 1995-Actualidad:** se busca implantar una filosofía de mejora continua que permita producir una gran cantidad de productos, con pocos recursos, que satisfagan al cliente y con el menor tiempo de entrega.

La filosofía de trabajo de Lean Thinking y la simulación asistida por computadora son dos de las alternativas más utilizadas por las empresas dedicadas a la producción de bienes. “El pensamiento Lean se refiere a la -producción ajustada- y la persecución de una mejora del sistema de fabricación. Lean es una palabra inglesa que aplicada a un sistema productivo significa “ágil, flexible” y capaz de adaptarse a las necesidades del cliente” (Rajadell Carreras & Sánchez García, 2010). Womack & Jones, (2012) establecieron los cinco principios fundamentales de Lean thinking entre los que se encuentra: la creación de valor, eliminación de mudas, crear un flujo continuo, producir de acuerdo con la velocidad del cliente (pull) y trabajar con la mejora continua.

Por otra parte, Witness, desarrollado por Lanner Witness Group Ltd., permite construir modelos complejos de forma sencilla y ofrece todas las herramientas para representar una multitud de sistemas reales. La simulación complementa adecuadamente el contexto en el cual se sitúa la filosofía Lean debido a que permite explorar diferentes posibilidades, “Una de las principales ventajas es que una vez que se ha construido un modelo de simulación válido, se pueden explorar nuevas políticas, procedimientos de operación, o métodos sin el gasto e interrupción que implicaría experimentar con el sistema real” (Ojeda, 2017).

En el trabajo realizado por (Machín, 2010) se desarrolló una metodología de Dirección de Proyectos para la implantación Lean en el sector sanitario. La aportación más relevante reside en presentar, y validar mediante

una aplicación práctica, un modelo Lean para organizaciones sanitarias en donde se identifica un sexto principio Lean: las personas. Se justifica la importancia del factor humano en la cultura Lean ya que múltiples técnicas evidencian su importancia entre las que destaca: shojinka, células de trabajo y kaizen. En 2015, Prieto Renda elaboró una metodología para la integración de la simulación con Lean Manufacturing con la cual se tuvo por objetivo “evaluar la toma de decisiones sin tener que realizar inversiones elevadas y garantizar con un margen de error pequeño los resultados ante los diferentes escenarios planteados”.

La célula de afilado y biselado donde se realiza el estudio se dedica a producir herramientas de alta calidad orientada a la fabricación de tijeras de mano para jardinería, agricultura, paisajismo y poda de tipo profesional, para su posterior exportación al mercado de Estados Unidos. La baja productividad en esta estación de trabajo ha llevado a la empresa a buscar la raíz del problema apoyada de una herramienta informática capaz de cuantificar Indicadores de Desempeño. Desafortunadamente, la empresa no ha perfeccionado la filosofía Lean y le resulta imposible poder evaluar de manera anticipada los resultados que traerá consigo una nueva forma de trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología desarrollada para el presente estudio se fundamenta en los cinco principios lean que direccionan el trabajo para la obtención de las condicionantes de mayor trascendencia en el contexto de la industria manufacturera.

1. Creación de valor: La célula de afilado y biselado posee una ubicación fundamental en el proceso de producción de la tijera ya que antecede al último de todos los procesos requiriendo que su tiempo de procesamiento sea lo más rápido posible para satisfacer la demanda del cliente interno. Además, este es un proceso exclusivo para una de las dos partes que conforman la tijera, la hoja, por lo cual, se debe lograr que en el proceso de ensamble se disponga tanto de hoja como de gancho para poder unir la tijera (Figura 1).

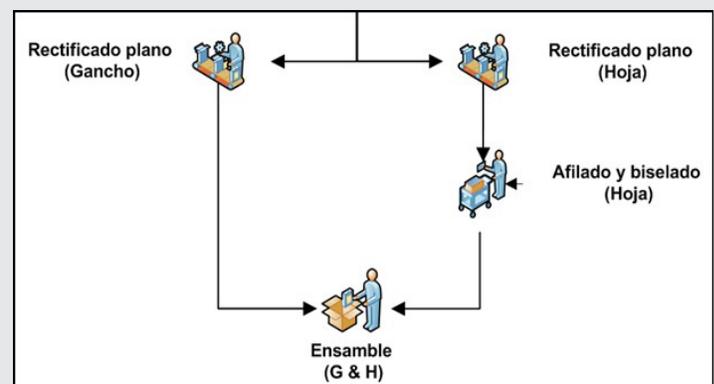


Figura 1. Ubicación de la célula de manufactura

A su vez, el proceso para el afilado y biselado de la hoja se conforma de cuatro procesos de transformación que bien, representan la creación de valor dada tanto por el cliente interno como externo, es decir, por la que el cliente está dispuesto a pagar:

- a) Colocación del amortiguador.
- b) Impresión de sello.
- c) Afilado y biselado.
- d) Sumersión de pieza en aceite.

2. Eliminación de mudas: entre los procesos de transformación, se requiere todo tipo de actividades que permitan la entrada y salida de piezas del sistema, así como su abastecimiento y transporte. Afilado y biselado dispone de un solo operador el cual realiza en su mayoría procesos de transformación de tipo manual y el resto son realizados automáticamente por los equipos de procesamiento. Para la comprensión de actividades, se estandariza en la mayor medida la secuencia de trabajo pese que las actividades se realizan a partir del primer proceso que concluye su ciclo de trabajo.

Del total de mudas o desperdicios establecidos por la filosofía lean, la primera área de oportunidad surge con la sobreproducción de piezas que entran a la célula de manufactura, ya que esta cantidad no se encuentra estandarizada y en la mayor parte de las veces excede la demanda requerida por el proceso más lento de toda la célula de manufactura: afilado y biselado (Figura 2).

	<u>Descripción de los eventos</u>	<u>Nombre</u>	<u>Símbolo</u>
1	Se coloca el amortiguador a tres hojas.	Operación	
2	Desplazamiento a uno de los dos equipos de afilado de hoja.	Transporte	

Figura 2. Diagrama de flujo de operaciones (Parte 1)

La segunda área de oportunidad se relaciona con la generación de inventario generado en la actividad número tres y que tiene estrecha relación con los movimientos y transporte adicional que realiza el operador (Figura 3 y 4).

Finalmente, la tercera área de oportunidad se relaciona con el tiempo de espera originado en la actividad número ocho, donde por lo regular, el operador se anticipa a un equipo de afilado y se retrasa al otro (Figura 5).

3	Si el equipo de afilado todavía no concluye su ciclo de procesamiento, se almacena la materia prima.	Almacenamiento	
4	Cuando uno de los dos equipos de afilado concluye su ciclo, se retira la pieza del lote anterior y se supervisa su filo.	Inspección	

Figura 3. Diagrama de flujo de proceso (Parte 2)

3	Si el equipo de afilado todavía no concluye su ciclo de procesamiento, se almacena la materia prima.	Almacenamiento	
4	Cuando uno de los dos equipos de afilado concluye su ciclo, se retira la pieza del lote anterior y se supervisa su filo.	Inspección	

Figura 4. Diagrama de flujo de operaciones (Parte 3)

8	Espera del término del ciclo de procesamiento.	Demora	
9	Se retira la pieza del lote anterior y se supervisa su filo.	Inspección	
10	Se introduce la segunda hoja al equipo de afilado	Operación	
11	Procesamiento del afilado de hoja.	Operación combinada	
12	Desplazamiento para la impresión de sello láser	Transporte	
13	Se limpia la superficie donde se colocará el sello a la primera hoja.	Operación	
14	Se coloca la impresión de sello.	Operación combinada	
15	Se limpia la superficie donde se colocará el sello a la segunda hoja.	Operación	
16	Se coloca la impresión de sello.	Operación combinada	
17	Desplazamiento a la actividad del amortiguador para iniciar otro ciclo de trabajo.	Transporte	

Figura 5. Diagrama de flujo de operaciones (Parte 4)

3. Creación de flujo continuo: Durante décadas se creyó que el porcentaje de ocupación del colaborador reflejaba la situación de la empresa lo bien que se estaban haciendo las cosas. Hoy en día, más que mantener al colaborador ocupado la mayor parte del tiempo, es prioridad que el proceso se encuentre con el flujo lo más continuo posible. Se presenta una Hoja Combinada de Trabajo Estándar, con la finalidad de distribuir eficientemente las actividades a partir del tiempo de ciclo de cada proceso y lograr aumentar los Indicadores de Desempeño para cada uno de ellos (Figura 6).

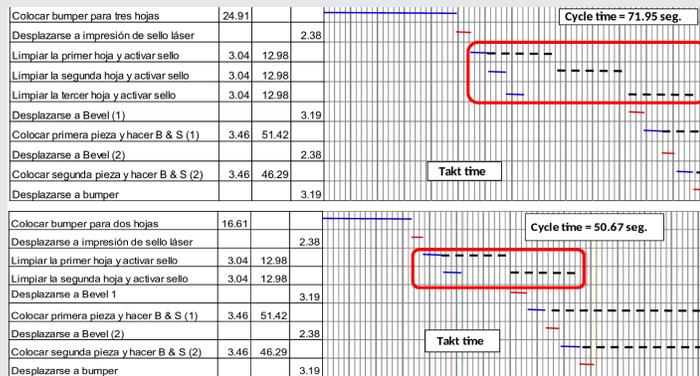


Figura 6. Hoja Combinada de Trabajo Estándar

Con la Hoja Combinada de Trabajo Estándar se pudieron establecer las siguientes alternativas de solución:

- Redistribuir la ubicación de los equipos de tal forma que la colocación del amortiguador (actividad manual) y la impresión de sello (actividad automática) que poseen los tiempos más similares, puedan realizarse como actividades en paralelo sin la necesidad de desplazamiento por parte del colaborador.
- Con la nueva redistribución de los equipos la secuencia de trabajo se estandariza iniciando con la colocación del amortiguador a la par de la impresión de sello, a continuación, el operador se desplaza a la afiladora con la menor distancia, posteriormente se traslada a la segunda afiladora y por último introduce las piezas en aceite y se encuentra listo para reiniciar con el ciclo de trabajo.
- La cantidad de piezas a realizar en cada proceso depende del proceso de arranque y estabilización. Solamente en el arranque del turno de trabajo, el colaborador procesará tres hojas alternándolas entre el proceso del amortiguador y la impresión del sello; sin embargo, cuando coloque la tercera pieza en el sello, esta se quedará realizando su procesamiento automático mientras él con las dos piezas restantes continúa con la secuencia de trabajo previamente establecida. Según la Hoja Combinada, el primer ciclo requerirá 71.95 seg. Al iniciar el segundo ciclo de trabajo y para el resto de ellos, únicamente se procesan y alternan dos piezas entre los procesos del amortiguador e impresión de sello, además, cuando active el sello de la segunda pieza, esta se quedará procesando mientras el operador continúa con su secuencia de trabajo tras-

ladando la pieza que acaba de salir y la que quedaba del ciclo de trabajo anterior.

4. Producir con la velocidad del cliente (pull): Para establecer un sistema de producción pull en donde se produzca a partir de la demanda del cliente, se dispone de un formato que contiene el total de horas presencia pagadas (28,800) menos el total de paros programados (3,000). El resultado de la resta anterior se divide entre la cantidad de piezas solicitadas por el cliente (992) y de este modo se obtiene el takt time o velocidad con la que se debe producir para satisfacerlo. El ritmo de producción contabilizado es de una pieza cada 26.01 segundos (Tabla 1).

Tabla 1. Takt time

Descripción	TURNO 1	
Horarios	06:00-14:00 hrs.	
Horas Presencia (Tiempo pagado en Seg.)	28,800	
Paros programados (segundos):		
Comida	1800	
5's	900	
Cambio de turno	300	
Total de paros programados:	3000	
Tiempo diario total disponible:	25,800	
REQUERIMIENTO DÍARIO	(B)	992 Pzas/Día
TAKT TIME	(A/B)	(C) 26.01 Seg/Pieza

TIEMPO TOTAL DE CICLO	(D)	292.97 Segundos
CANTIDAD DE OPERADORES	(D/C)	11.26 Operadores
PZS POR HORA REQUERIDAS		138 Piezas/Hrs

La importancia de realizar una producción a partir de la demanda del cliente radica en la ausencia de las mudas en la célula de manufactura ya que evitará entre principalmente una sobreproducción, la generación de inventario, el transporte, los movimientos y los tiempos de espera. El cálculo de este indicador es indispensable para saber en qué momento se está produciendo más de lo solicitado por el cliente, pero también, para identificar cuando no se está cumpliendo con la cantidad de producción requerida

5. Mejora continua: Las alternativas y modificaciones propuestas en la Hoja Combinada fueron simuladas en el software Witness. La lógica general de construir modelos en Witness inicia con la generación, agrupación, separación, almacenamiento, circulación, etc., de entidades. A continuación, se emplean reglas para que, a partir de actividades, colas y caminos, las entidades puedan controlar y gobernar su flujo. Finalmente, se utilizan acciones para determinar el momento de realizar un cambio que permita alterar el estado de los elementos. El modelo simulado para la célula de manufactura es el siguiente (Figura 7).

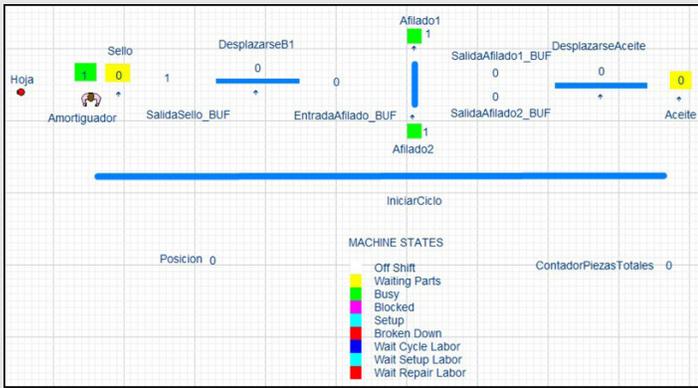


Figura 7. Modelo de simulación en Witness

Con el asesoramiento de los expertos de la empresa, se optó por realizar las modificaciones pertinentes para evaluar la alternativa de solución y sus dos posibles escenarios (Tabla 2).

Tabla 2. Datos descriptivos de la variable humedad.

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	Reemplazar al operador durante la media hora de comida. Redistribución de la célula de manufactura. Definir secuencia de trabajo. Definir cantidad de piezas a procesar.
ESCENARIO 1	Reducir en dos segundos el tiempo de procesamiento para la máquina 1 de afilado.
ESCENARIO 2	Aumentar en uno o más, el número de piezas que se procesan.

Durante la simulación, “Mary” es la encargada de abastecer y realizar el procesamiento manual de toda la célula de trabajo. El recurso Mary, inicia su ciclo de trabajo colocando manualmente el amortiguador a dos “hoja” y alternándolo con la limpieza de la superficie donde se coloca la impresión automática del sello. Posteriormente, se desplaza para depositar la primera hoja en la afiladora más cercana y la otra hoja en la afiladora restante. Finalmente, se vuelve a desplazar para sumergir la pieza en aceite y de este modo vuelve a reiniciar el ciclo. El color en cada uno de los procesos refleja el estado de la maquina en que se encuentra.

Las reglas de entrada y salida, push-pull, permiten controlar el flujo de las piezas a lo largo de la célula de afilado y biselado. Cuando se utiliza push como regla de salida de un proceso, la regla de entrada del siguiente deberá ser wait; por su parte, cuando se utiliza como regla de entrada pull, la regla de salida de la maquina anterior será wait. Para la mayor cantidad de procesos se emplearon máquinas de tipo “ciclo múltiple” para diferenciar y controlar tanto las actividades que debe realizar Mary y las que son realizadas por la máquina, así como diferenciar las actividades que Agregan Valor (AV) y las que No Agregan Valor (NAV).

La lógica al simular a Mary fue a partir de una variable entera llamada “posición” con la cual se solicita al recurso en cada una de las actividades que requieran de él. Se empleó para la variable posición una numeración del 1 al 7 para categorizar de la primera a la última ac-

tividad que realiza Mary durante un ciclo de operaciones. Se empleó otra variable entera en las “acciones al empezar el ciclo” de los procesos que sirve de contador (Contador Amortiguador = Contador Amortiguador + 1) para que después de la cantidad de hojas requeridas (Contador Amortiguador = 2), se pueda reiniciar el contador (Contador Amortiguador = 0) y de este modo el recurso se pueda liberar a la siguiente actividad y quedar listo para reiniciar el próximo ciclo de trabajo (Figura 8).

```

Edit Actions On Start Cycle For Machine Sello
Select Search Editor Print
ContadorAmortiguador = ContadorAmortiguador + 1
IF ContadorAmortiguador = 2 !*numduo
  Posicion = 2
  ContadorAmortiguador = 0
ELSE
  Posicion = 0
ENDIF
Tva(3) = TIME
    
```

Figura 8. Lógica para la simulación del recurso Mary

Finalmente, para lograr que el modelo simulado pasara del estado de calentamiento al de estabilidad, se introdujeron piezas con la creación de variables enteras para cada uno de los procesos y lugares que se encuentran funcionando mientras Mary reinicia su ciclo (SalidaSello_BUF así como Afilado1 y Afilado2) y así, el modelo se enfocara en medir la etapa de interés. Desde el primer segundo se puede observar una pieza sobrante del ciclo anterior en la SalidaSello_BUF, así como las máquinas de Afilado1 y Afilado2 con procesamiento de piezas (Figura 7).

RESULTADOS

La elección de los siguientes indicadores de desempeños para cada una de las alternativas surge como resultado de las necesidades y prioridades manifestadas por la empresa, así como de la documentación de los diversos casos de éxito a nivel internacional. Estos indicadores se encuentran clasificados a partir de los principales elementos y procesos que conforman la célula de afilado y biselado: el operario encargado de realizar y administrar cada una de las actividades, las piezas u hojas que se encuentran en transformación y los procesos que agregan valor a la hoja como lo son la colocación del amortiguador, la impresión de sello, el afilado en máquina 1 y afilado en máquina 2.

Como bien señala la filosofía de trabajo Lean, se debe identificar qué es lo que queremos incrementar y qué queremos reducir. La relación de hojas vs operario nos demuestra que lo verdaderamente importante en un proceso cuello de botella es incrementar la produc-

ción ya que el porcentaje de ocupación del operario es codependiente de realizar actividades con VA y NVA (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores de Desempeño (Condición inicial vs alternativa)

INDICADOR DE DESEMPEÑO	CONDICIONES INICIALES		ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	
	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA
OPERARIO				
Ocupación	7.34	Horas	7.25	Horas
Ocupación	95.80	%	94.56	%
Tiempo de espera	4.20	%	5.44	%
Cantidad de ciclos	482	Veces	467	Veces
Tiempo promedio de ciclo	54.86	Segundos	55.89	Segundos
Tiempo de transporte	2.18	Horas	1.78	Horas
Tiempo de transporte	28.49	%	23.25	%
PIEZAS (HOJAS)				
Producción total	630.00	Piezas	934.00	Piezas
Tiempo de VA	33.21	%	54.11	%
Tiempo de NVA	66.79	%	45.89	%
Promedio de permanencia en el proceso	168.97	Segundos	136.83	Segundos
AMORTIGUADOR				
Ocupación de Búmpers	1.48	Horas	2.24	Horas
Ocupación de Búmpers	19.25	%	29.2	%
Producción	630	Piezas	934	Piezas
SELLO				
Limpiar hojas	7.79	%	13.22	%
Ocupación de sello	2.25553	Horas	3.37257	Horas
Ocupación de sello	29.42	%	43.99	%
AFILADO (MÁQUINA 1)				
Ocupación en máquina	57.07	%	87.99	%
Producción	315	Piezas	467	Piezas
AFILADO (MÁQUINA 2)				
Ocupación en máquina	52.50	%	77.83	%
Producción	315	Piezas	467	Piezas
SUMERSIÓN EN ACEITE				
Ocupación	4.13	%	6.13	%
Producción	315	Piezas	467	Piezas

Para las condiciones iniciales se puede corroborar que el elevado porcentaje de ocupación del operador y su baja producción se debe a la cantidad de ciclos que debe realizar. Con la alternativa de solución, el operario dispone de una efectiva redistribución de la célula de manufactura, cuenta con una secuencia de trabajo definida y la cantidad de piezas que necesita procesar en cada proceso originando una reducción en las actividades con NVA como lo es el tiempo de transporte para ir de un proceso a otro. Con la alternativa de solución se logra incrementar la producción en 304 piezas equivalente al 48.25% respecto a las condiciones iniciales de la célula de afilado y biselado.

Por su parte, en el escenario 1 se logra un aumento de 16 tijeras equivalentes al 1.71% respecto a la alternativa de solución. La posibilidad de aumentar en uno o más,

la cantidad de piezas que se procesan (escenario 2) resulta ser contraproducente al aumentar la ocupación del operario al concentrarse en mayor medida a la colocación del amortiguador y sello, pero descuidando el resto de los procesos ocasionando una pérdida en la producción del 15.85% respecto a la alternativa de solución (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Indicadores de Desempeño para los dos escenarios propuestos (Parte 1)

INDICADOR DE DESEMPEÑO	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2	
	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA
OPERARIO				
Ocupación	7.37	Horas	7.46	Horas
Ocupación	96.14	%	97.27	%
Tiempo de espera	3.86	%	2.73	%
Cantidad de ciclos	475	Veces	393	Veces
Tiempo promedio de ciclo	55.86	Segundos	68.31	Segundos
Tiempo de transporte	1.81	Horas	1.50	Horas
Tiempo de transporte	23.64	%	19.51	%
PIEZAS (HOJAS)				
Producción total	950.00	Piezas	786.00	Piezas
Tiempo de VA	54.3111	%	1.85974	%
Tiempo de NVA	45.6889	%	98.1403	%
Promedio de permanencia en el proceso	134.793	Segundos	3936.45	Segundos

Tabla 5. Indicadores de Desempeño para los dos escenarios propuestos (Parte 2).

AMORTIGUADOR				
Ocupación de Búmpers	2.30	Horas	2.66	Horas
Ocupación de Búmpers	29.47	%	34.645	%
Producción	950	Piezas	1180	Piezas
SELLO				
Limpiar hojas	13.49	%	18.67	%
Ocupación de sello	3.43083	Horas	4.2596	Horas
Ocupación de sello	44.75	%	55.56	%
AFILADO (MÁQUINA 1)				
Ocupación en máquina	87.05	%	71.20	%
Producción	475	Piezas	393	Piezas
AFILADO (MÁQUINA 2)				
Ocupación en máquina	79.17	%	65.50	%
Producción	475	Piezas	393	Piezas
SUMERSIÓN EN ACEITE				
Ocupación	6.24	%	5.16	%
Producción	475	Piezas	393	Piezas

Del tiempo promedio que el operario tarda en realizar un ciclo de trabajo, se puede obtener el tiempo de entrega al cliente (para la siguiente celda de trabajo). Al procesar dos piezas por cada ciclo de trabajo, el valor para cada pieza resulta de dividir la cantidad total entre dos. Así mismo, el tiempo de VA para la hoja pasó de un 33.21% de las condiciones iniciales a un 51.31% con la implementación del escenario 1.

CONCLUSIONES

La implementación de los cinco principios fundamentales de Lean Thinking forman parte de las directrices que rigen a las empresas contemporáneas de Clase Mundial. Con el desarrollo de los cinco principios se tuvo una idea completamente lucida de los pasos y actividades a desarrollar para el logro de los objetivos planteados inicialmente.

Con el trabajo realizado, fue posible obtener un diagnóstico respecto a los motivos que ocasionaban una obtención de Indicadores de Desempeño de la Productividad tan bajos. Así mismo, se propuso una alternativa de solución para incrementar en un 48.25% la producción de piezas sustentada principalmente en una correcta secuencia de trabajo, la cantidad de piezas a ser procesadas en cada uno de los procesos y en la redistribución de los procesos que conforman la célula de afilado y biselado.

Entre las principales funcionalidades de Witness destaca su estructura jerárquica y modular, un ambiente amigable e interactivo, un potente conjunto de operaciones de control y lógica, extensas entradas e informes estadísticos, así como enlaces de entrada y salida directos a hojas de cálculo, formatos XML, informes HTML, aplicaciones CAD, etc. En contrapartida, el principal reto que enfrenta el programador es el conocimiento lógico requerido para el establecimiento de reglas y acciones que constituyan al modelo.

Se comprueba que con la alternativa de solución es posible incrementar los porcentajes de ocupación de los procesos para la colocación del amortiguador, impresión de sello, las dos afiladoras y la sumersión en aceite. Con el escenario 1 se demuestra que reducir en dos segundos el tiempo de procesamiento de la afiladora 1 permitirá mejorar aún más cada uno de los indicadores de desempeño, mientras que, intentar aumentar el tamaño de lote propuesto en el escenario 2 resulta contraproducente tomando como base los valores obtenidos de la alternativa de solución.

Las técnicas y herramientas aplicadas acorde a los principios lean como lo fue el diagrama de flujo de proceso, la Hoja Combinada de Trabajo Estándar, la simulación y el establecimiento de Indicadores de Desempeño de la Productividad, proporcionaron para el contexto empresarial actual, la enorme utilidad que representan para la construcción de áreas de oportunidad y éxito en los procesos de producción de la industria moderna.

BIBLIOGRAFÍA

[1] *Bateman, T., & Snell, S. (2009). Administración: Liderazgo y colaboración en un mundo competitivo . México: Mc Graw Will.*

[2] *David , E., & Taha, H. (2008). Simulation of Industrial Systems; Discrete event simulation using Excel/VBA. EE.UU.: Anerbach Publications.*

[3] *Félez Blasco, A., & Oliveros Colay , M. (2014). Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos. Zaragoza: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.*

[4] *Ltd, L. G. (2016). Learning Witness book one. Reino Unido: Manufacturing Performance.*

[5] *Ltd, L. G. (2016). Learning Witness book two. Reino Unido: Manufacturing Performance.*

[6] *chín, I. M. (2010). Aplicación de la metodología de Dirección de Proyectos para la implantación de Lean en el sector sanitario . España: Universidad de la Rioja.*

[7] *Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. (2010). LEAN MANUFACTURING La evidencia de una necesidad. España: Díaz de Santos.*

[8] *Ramírez, H. M. (1992). Productividad en la manufactura e impacto de ciertos indicadores de desempeño. Nuevo Leon: Facultad de Ingeniería Mecánica y eléctrica.*

[9] *Womack, J., & Jones, D. (2012). Lean Thinking. Barcelona, España: Gestión 2000.*