

APLICACIÓN DE LEAN MANUFACTURING EN EL DISEÑO DE UNA MEJORA TECNOLÓGICA EN UNA MICROEMPRESA

MPGCT. FERNANDO ELI ORTIZ HERNÁNDEZ

IPN ESIME UC, Ing. Mecánica, México.

fernandoelih@gmail.com

VÁZQUEZ CENIL IVÁN

IPN ESIME UC, Ing. Mecánica, México.

Vazen92@gmail.com

ING. MARIO ROLDAN CHACÓN

IPN ESIME UC, Ing. Mecánica, México.

wtf_mco@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es lograr un proceso más eficiente definiendo puntos de mejora tecnológica e innovación en la producción de dulces típicos para incrementar la productividad.

Lean Manufacturing es una técnica importante de mejora empresarial que tuvo origen en el modelo de producción Toyota aunada a la filosofía Kaizen de mejora continua, cambia paradigmas en las empresas creando un sistema que permite su crecimiento mediante la aplicación de herramientas lean.

En el desarrollo del trabajo se aplicaron los eventos Kaizen en una microempresa de dulces típicos mexicanos donde se detectaron varios puntos de mejora en el proceso de producción de obleas. Implementando las herramientas de mejora Lean se propone un proceso más eficiente y productivo a través de la reducción de actividades que no agregan valor al producto.

Los resultados fueron la definición de dos mejoras tecnológicas: 1) un proceso mejorado a través del diseño de una máquina semiautomática que elabora obleas empleando principios Lean y aplicando conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica, termodinámica y programación; 2) aumento de la productividad aplicando la mejora continua y disminuyendo en gran proporción el desperdicio, esfuerzo y tiempo de elaboración.

Palabras clave: Kaizen, diseño, Lean manufacturing, microempresa, competitividad.

2. METODOLOGÍA.

Tabla 1. Metodología Investigación Acción-Participativa, IAP

ESTRUCTURA	ELEMENTOS DE METODOLOGÍA
Antecedentes	<p>Proyecto: IPN SIP 20150206 <i>“Técnicas para el aumento de productividad en microempresa rural”</i> Participantes: Microempresa de estudio. Instituto Politécnico Nacional Grupo de alumnos y tesisistas del IPN. Lugar: Tulyehualco, Del. Xochimilco, Ciudad de México</p>
Zona de estudio	<p>Reconocimiento de la zona de estudio Visitar la microempresa de estudio y se establece comunicación con las personas solicitando nos permitan observar sus procesos para aplicar la metodología kaizen, centrando la atención en la forma de trabajar y las problemáticas, explicando cómo describir los hechos y proponer soluciones.</p> <p>Reunión con dueños y trabajadores de microempresa Se realizan reuniones con dueños y trabajadores para dar a conocer el proyecto, las metas y objetivos, procediendo con la presentación de todos, además, son bienvenidas todo tipo de opiniones y comentarios de quienes están interesados en participar, finalmente se acuerda una fecha para iniciar las actividades.</p>
Integración	<p>Formación de grupo de trabajo para el proyecto Esta parte consiste en explicar las ventajas de integrarse y trabajar en grupo, los beneficios del aprendizaje, el objetivo y metas de la propuesta, así como los temas a tratar. Se inician actividades, mostrando que se abordan dos partes, una teórica y otra práctica.</p>
Aprendizaje	<p>Dinámicas de trabajo Curso para tesisistas y alumnos. 4 sesiones de 2 horas cada una. Curso para dueños y empleados de la microempresa. 3 sesiones de 1 hora cada una. Al iniciar el curso no se tendrá una idea clara de lo que es el Kaizen y el lean manufacturing, por lo que se debe explicar su diferencia, relación y forma de aplicación de las herramientas lean para mejorar los procesos.</p> <p>Evaluación de nuevos conocimientos Se realiza un examen básico sobre temas vistos en las sesiones y una encuesta sobre el grado de utilidad de la información expuesta en las sesiones.</p> <p>Apuntes de Kazien y Lean Manufacturing Se proporcionan apuntes que refuerzan el conocimiento adquirido para la posterior aplicación en otras microempresas.</p>
Habilidades.	<p>Criticar constructivamente: En los procesos habrá situaciones que parecen correctas para algunos, pero no para otros. Trabajo en equipo: La detección de puntos de mejora se hace por medio de un grupo interdisciplinario e integrantes de la empresa. Comunicación: Los hechos que no buscan culpables se hacen de forma clara y concisa. Automatización: El diseño de la máquina requiere la aplicación de conocimientos de automatización. Creatividad: Para observar soluciones únicas que resuelvan una situación o la mejoren.</p>
Logros	<p>Formación de un equipo de trabajo. Construcción de un prototipo. Un proceso mejorado en una microempresa. Diseño de una máquina semi-automatizada. Operación y programación de controladores electrónicos.</p>
	<p>Prototipos adecuados a las necesidades de la empresa El prototipo se diseñó para su aplicación en un proceso de la microempresa de dulces típicos. Lo importante fue el aprendizaje, el conocimiento de métodos para trabajar; así como desarrollo de nuevas habilidades que comenzaron un cambio, sobre todo en la forma de pensar.</p>

Cultura Innovadora	Inicio del ambiente de innovación para la producción rural Mediante la creación de conocimiento organizacional empleando al Kaizen, Lean Manufacturing e innovación, se registra un antecedente de trabajo en equipo y una metodología que puede ser aplicada por todos los que integran la empresa.
	Innovación incremental en el producto Se sustituye el antiguo paradigma por el de mejora continua que manteniendo una mente abierta buscando nuevas formas de mejorar procesos, formas de trabajo y el producto.
	Innovación incremental en el proceso El proceso está en cambio constante, se mejora en pequeñas acciones y plantea la posibilidad de implementar innovación tecnológica.

Fuente: Elaboración propia.

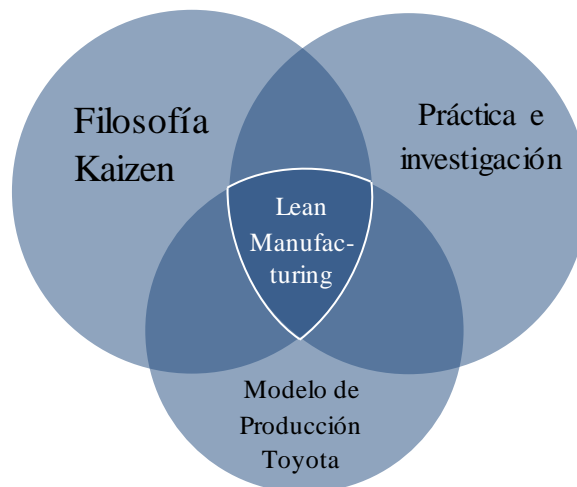
En la aplicación del kaizen se empleó el ciclo de Deming Planear-Hacer-Verificar-Acción; mientras que en el desarrollo del diseño de la máquina elaboradora de obleas se siguieron las fases del diseño propuestas por Norton.

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

Investigación

Con el objetivo de aumentar la productividad y eficiencia en una microempresa se realizó una investigación sobre el Kaizen y Lean Manufacturing, dos importantes conceptos utilizados en la mejora empresarial, y como expone Ortiz (2010).

Figura 1. Correlación entre el Lean Manufacturing, Kaizen y el



Fuente: Elaboración propia.

Se inicia con la revisión de sus conceptos, origen y desarrollo, esto con el fin de entender sus diferencias, similitudes y correlación (véase fig. 1). Posteriormente se estudian las herramientas lean (véase Tabla 2) y su forma de aplicación, para determinar cuales tienen mayor posibilidad de

ser aplicadas en el caso de estudio. Esto es un ejemplo de gestión del conocimiento cuyo objetivo es la mejora simultánea de la productividad y competitividad, constituyéndose como una ventaja competitiva sostenible y difícil de imitar por la competencia (Jordy, Medellín, Hidalgo, & Jasso, 2008), esto último es logrado gracias a las soluciones creativas del grupo de trabajo.

Tabla 2. Herramientas Lean Manufacturing.

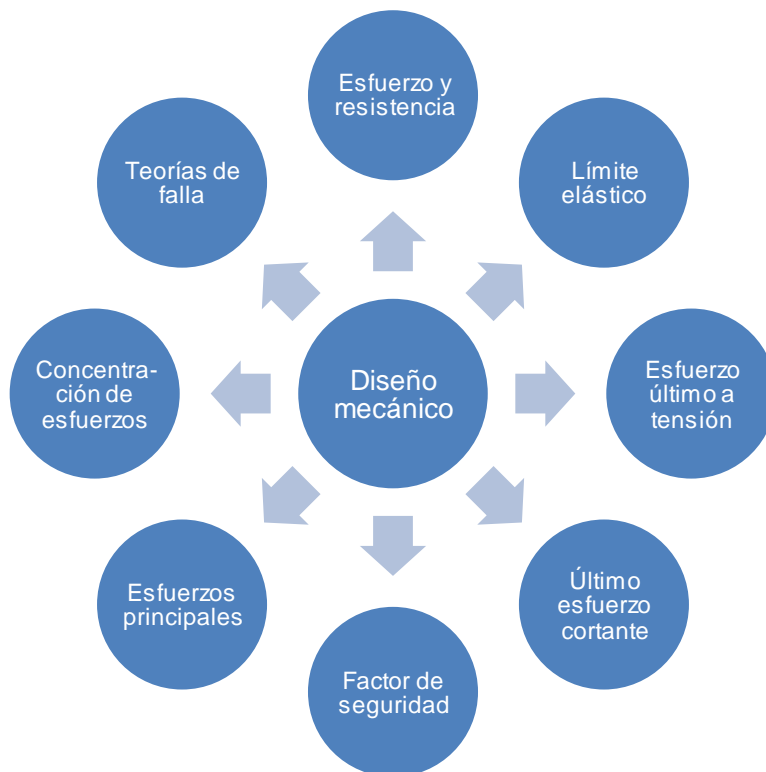
Implementación Básica.	Eventos Kaizen	Mejora los resultados de los procesos existentes mediante acciones ejecutadas por un equipo de mejora interdisciplinario.
	5's	Disciplina de hábitos de orden y limpieza, que logra mejoras en la productividad en el lugar de trabajo.
	Control visual.	El trabajo se relaciona con señales audiovisuales que proporcionan información en tiempo real sobre el estado de un proceso.
Efectividad en los equipos.	Mantenimiento Productivo Total.	Metodología que mantiene a las máquinas, equipos, e instalaciones en óptimas condiciones para un flujo continuo de operación.
Tiempo de entrega y capacidad.	Manufactura Celular.	Concepto que hace fluir a la producción ininterrumpidamente entre cada operación, reduciendo drásticamente el tiempo de respuesta, maximizando las habilidades del personal y haciendo que cada empleado realice varias operaciones.
	Cambios Rápidos de productos.	SMDE (Single Minute Exchange of Die) que se entiende como cambio de herramientas en menos de 10 minutos para maximizar el tiempo de producción.
Calidad	AMEF	Identifica fallas en productos y procesos, evalúa sus efectos, causas y elementos de detección para evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.
	Poka Yoke	Métodos que evitan los errores humanos en los procesos antes de que se conviertan en defectos.
	8 D's	Metodología que resuelve problemas sistemáticamente mediante la documentación de acciones realizadas en 8 pasos mediante un equipo interdisciplinario.
	Seis Sigma	Metodología de mejora que sirve para disminuir drásticamente la variación de la calidad entre un mismo producto, incumpliendo las expectativas del cliente.
Control de materiales y producción	Kanban	Tarjeta que apoya a la programación de la producción, con un sistema de comunicación que permite sincronizar los procesos de manufactura con los requerimientos del cliente.
	Heijunka	Sistema de control que sirve para nivelar la producción al ritmo de la demanda del cliente final, variando la carga de trabajo de los procesos de manufactura.
Trabajo	Estandarización	Permite la elaboración de productos con la misma calidad.
Reducción de energía.	Ahorro de energía	Reduce el consumo y aprovecha la energía en equipos y maquinaria.

Fuente: Basado en (Socconini, 2013)

En la etapa final de la investigación se determina si el planteamiento de la innovación está en sincronía con los objetivos del Kaizen y Lean Manufacturing, algo que resulta cierto al observar que el propósito final de la innovación es dar a las personas la mejor calidad de vida posible. En consecuencia, la innovación debe buscar soluciones inteligentes (M. Lee & Trimi, 2016), aunado a que el diseño es “formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular. Si el plan resulta en el algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse (G. Budynas & Nisbett, 2012). Se concluye que la gestión del conocimiento sobre diseño e innovación beneficia a la empresa si se emplea para crear una modelo real que disminuya el esfuerzo de las actividades, sea eficiente y entregue un producto de calidad en el menor tiempo posible.

Para poder diseñar la mejora tecnología se investigaron los fundamentos de diseño (véase fig. 2) y su proceso, el cual debe ser innovador e interactivo, tener una necesidad, objetivos y una meta, retroalimentándose de una etapa a otra, permitiéndose incluso regresar a la redefinición del problema si es necesario. Norton (2014) concluye que no es posible diseñar linealmente, es tres pasos hacia adelante y dos (o más) hacia atrás, hasta que finalmente emerges con una solución funcional.

Figura 2. Fundamentos del diseño mecánico.



Fuente: Elaboración propia.

Visita a microempresa

Al realizar las visitas para la aplicación de las herramientas Lean y difundir el conocimiento en la microempresa. Tanto alumnos como tesistas fueron gerentes de conocimiento tomando los roles mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Roles básicos del gerente de conocimiento.

Rol	Actividades
Animador	Propone ideas y propuestas; convence sobre iniciativas de interés para la empresa, alienta los procesos y flujos de conocimiento entre las personas; incita a la colaboración entre personal de diferentes áreas.
Orientador	Encamina y abre cauce a nuevas propuestas e iniciativas; enlaza iniciativas y actividades bajo una perspectiva compartida; asigna o apoya en la consecución de recursos a quienes están más cerca de las fuentes de conocimiento; canaliza o encamina ideas y propuestas hacia otros colegas o tomadores de decisiones.
Facilitador	Facilita las condiciones para la creación e intercambio de conocimientos; elimina obstáculos organizacionales; posibilita las diversas iniciativas y acciones de conocimiento; ayuda a generar un lenguaje compartido sobre la materia; permite el intercambio y la formación colectiva (en talleres o de manera informal).

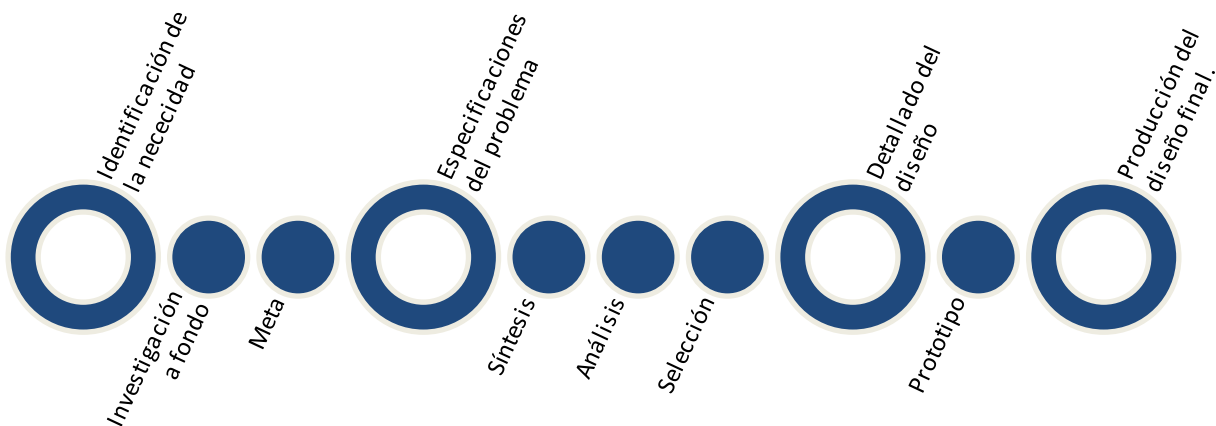
Fuente: Elaborado por Medellín (2008).

Todo ello para ayudar a mejorar los procesos, principalmente con la ejecución de pequeñas acciones (véase tabla 7), que permiten a la empresa aumentar su productividad y eficiencia con nula o poca inversión lo cual significa que se han reducido las actividades que no agregan valor al producto.

Diseño

En la figura 3 se muestran las fases de diseño que se siguieron y se describe como se implementaron en el proyecto propuesto:

Figura 3. Proceso de diseño



Fuente: Basado en Norton (2014)

1) Planteamiento de la necesidad.

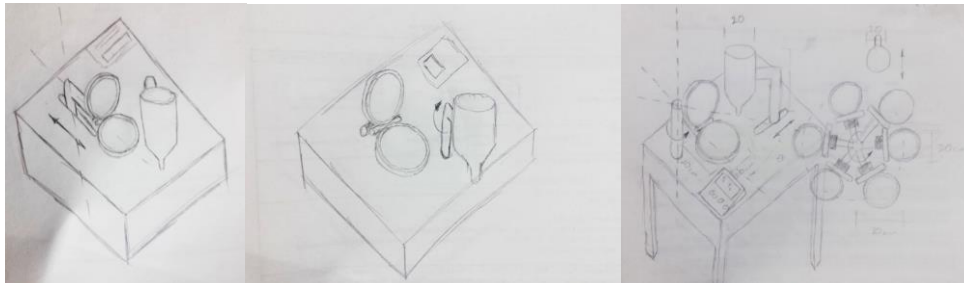
Reducir el tiempo, esfuerzo y pérdidas de materia prima en el proceso de elaboración de obleas de una microempresa de dulce típicos.

2) Investigación del estado del arte.

3) Se definen las características de la máquina.

- Cuenta con un contenedor para la masa de elaboración de obleas.
- Incluye 4 planchas para la cocción de las obleas (son con las que cuenta la microempresa).
- Un mecanismo verte la masa hacia las planchas automáticamente.
- El cierre y apertura de la plancha debe ser automático.
- Los indicadores mostraran al operario en qué etapa del proceso se encuentra la máquina.
- Las planchas deben tener un borde que evita el exceso de masa.
- Las planchas se pueden intercambiar para hacer obleas de varios tamaños.
- Se realizan bocetos de las posibles soluciones que satisfagan la necesidad, describiendo su funcionamiento, así como sus ventajas y desventajas, comparando cual es la mejor idea en base a aspectos económicos, posibilidad de llevarse a cabo, tiempo para realizarla, manufactura etc.

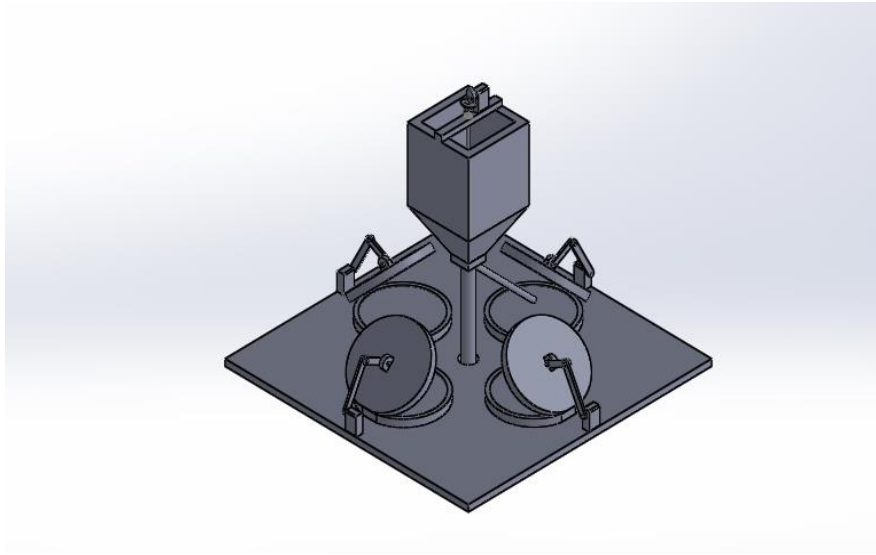
Figura 4. Bocetos de ideas para el diseño



Fuente: Elaboración propia

4) Una vez elegida la idea a realizar se procede a hacer un dibujo que incluya dimensiones y muestre los principales componentes de la máquina.

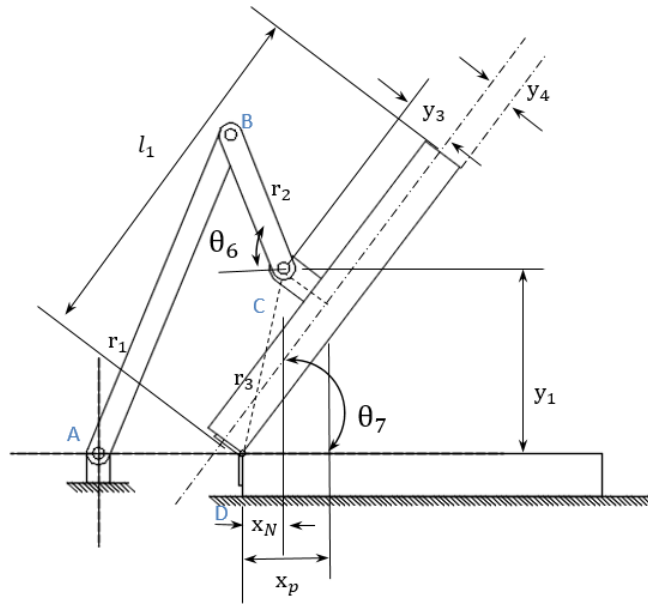
Figura 5. Modelo 1 de la máquina para hacer obleas.



Fuente: Elaboración propia.

5) Realización de diagramas y cálculos para hacer selección de componentes y materiales.

Figura 6. Mecanismo de apertura de planchas



Fuente: Elaboración propia.

Cálculos.

Resultados del cálculo de posiciones, velocidad y aceleraciones a diferentes ángulos de apertura de la plancha considerando a $w_1 = \text{cte}$.

Tabla 4. Aplicación de teorías de falla en los esfuerzos del nodo A del elemento 1.

y1 (m)	Q (m3)	τ_{xy} (Pa)	σ_x (Pa)	$\sigma_{\text{distorsión}}$ (Pa)	$\sigma_{\text{principales}}$ (Pa)	
0,0000	0,00000025	309166,21	0,0000	535491,6008	309166,21	-309166,21
0,0050	1,875E-07	231874,66	6073651,59	6086915,577	6082491,04	-8839,4475
0,0080	0,00000009	111299,83	9717842,548	9719754,460	9719117,11	-1274,5658
0,0090	4,75E-08	58741,58	10932572,86	10933046,29	10932888,48	-315,6141
0,0100	0	0,0000	12147303,18	12147303,18	12147303,1858	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Aplicación de teorías de falla en los esfuerzos del nodo B del elemento 1.

y1 (m)	Q (m ³)	τ_{xy} (Pa)	σ_x (Pa)	$\sigma_{\text{distorsión}}$ (Pa)	$\sigma_{\text{principales}}$ (Pa)	
0,0040	0,00000021	554913,72	10382310,41	10426704,047	10411885,198	-29574,783
0,0085	6,9375E-08	183319,71	22062409,63	22064694,358	22063932,756	-1523,1245
0,0091	4,1020E-08	108394,22	23730995,23	23731737,879	23731490,328	-495,0936
0,0094	2,91E-08	76895,188	24398429,47	24398792,992	24398671,819	-242,3439
0,0100	0	0,0000	25955776,03	25955776,038	25955776,038	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los elementos críticos que se estudiaron fue el 2 cuyo valor de esfuerzo máximo es $\sigma_{max} = 1,108,530 \text{ Pa}$ en la sección transversal en el nodo C y D del elemento analizado concluyendo que no representa un riesgo en el diseño.

Aplicación del Kaizen y Lean Manufacturing en el proceso de elaboración de obleas.

Tabla 6. Comparación entre el proceso actual y mejorado. (a) tiempos y distancias (b) actividades realizadas

Mediciones	Actual	Propuesto	Actividad	Actual	Propuesto
T. reloj (min)	23.2	10.84	Operación	17	11
T. cronometro (min)	16	10.33	Transporte	15	4
Distancia (m)	12.9	2.4	Espera	5	2
			Inspección	1	0
			Almacenamiento	1	1
			Total	39	18

(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia.

Productividad.

$$Productividad_{actual} = 0.3125 \text{ obleas}/\text{min} * \text{operario}$$

Cada 3.2 minutos un operario produce una oblea.

$$Productividad_{mejorada} = 0.5457 \text{ obleas}/\text{min} * \text{operario}$$

Cada 1.8326 minutos un operario produce una oblea.

Eficiencia.

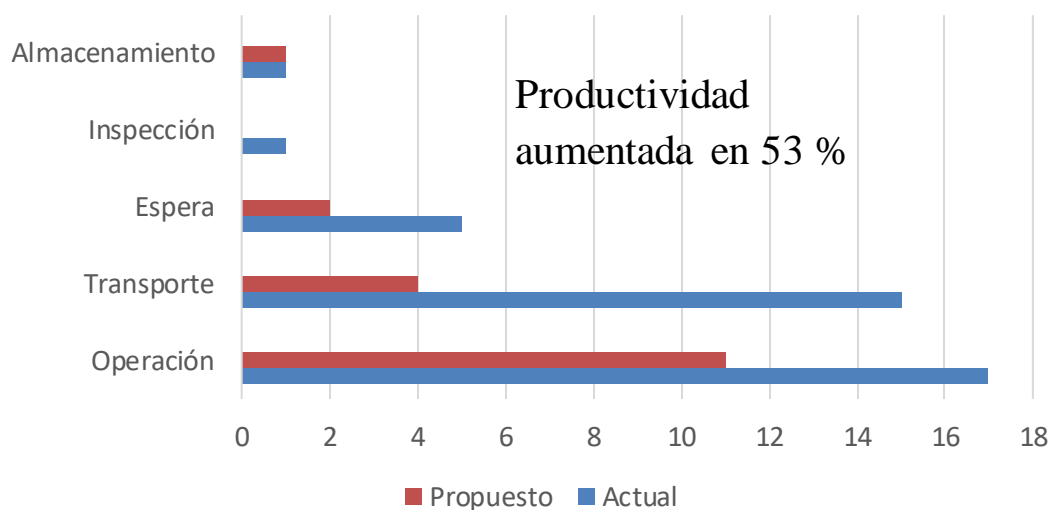
$$Eficiencia_{actual} = 68 \%$$

$$Eficiencia_{mejorada} = 95 \%$$

Resultados

De los cálculos anteriores y de la información de la tabla 6 se obtienen las figuras 7 y 8. En la figura 7 se observa que la reducción de las actividades del proceso de elaboración de obleas permite un aumento en la productividad del 53 %.

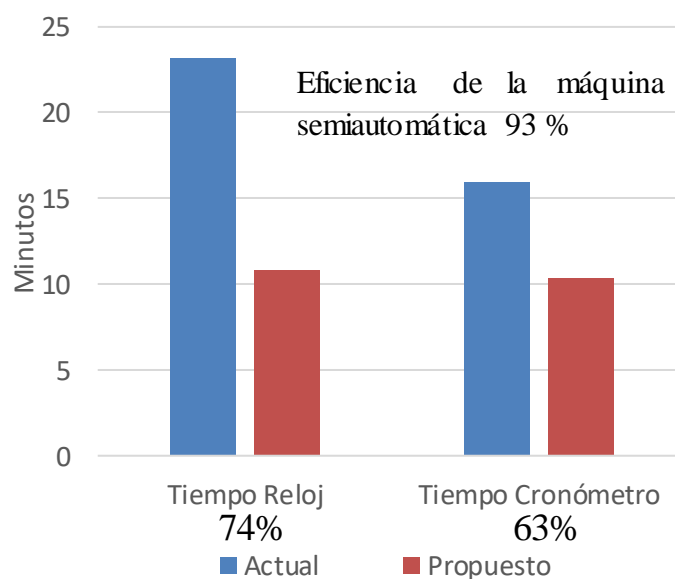
Figura 7. Actividades realizadas del proceso de elaboración de obleas



Fuente: Elaboración propia.

Así también, la figura 8 muestra que la máquina semiautomática de obleas reduce el tiempo reloj y cronómetro en un 74% y 63% respectivamente obteniendo una eficiencia del 93%.

Figura 8. Tiempo del proceso de elaboración de obleas



Fuente: Elaboración propia.

La distancia total del recorrido del proceso de elaboración de obleas se disminuyó de 12.9 m a 2.4 m, lo cual representa una reducción del 69.04 %.

Por último, la forma en la que se aplicaron las herramientas Lean son descritas en la tabla 7.

Tabla 7. Aplicación de las herramientas lean en el proceso de elaboración de obleas

Implementación Básica.	Eventos Kaizen	Documentación del proceso Descripción de hechos que originan situaciones que impiden el crecimiento de la empresa. Soluciones propuestas.
	5's	Se escribe un documento de los elementos necesarios para la elaboración de obleas. Colocar los ingredientes y utensilios en un lugar específico. Cada vez que una tarea finalice se hace limpieza. Se escribe una receta de obleas y se define un proceso estándar a seguir.
	Control visual.	Las distancias entre las diferentes zonas se reducen al mínimo para crear una célula autónoma.
Efectividad en los equipos.	Mantenimiento Productivo Total.	Se hace un protocolo de las posibles fallas para que se puedan resolver lo más pronto posible.
Tiempo de entrega y capacidad.	Manufactura Celular.	Las distancias se reducen al mínimo para ayudar a crear una célula autónoma.
	Cambios Rápidos de productos.	Crear planchas intercambiables con el fin de producir obleas de diferentes tamaños según la demanda lo requiera.
Calidad	Poka Yoke	Conectores especiales para evitar conectar erróneamente los cables.
Trabajo	Estandarización	Permite la elaboración de productos con la misma calidad.
Reducción de energía.	Ahorro de energía	Reduce el consumo y aprovecha la energía en equipos y maquinaria.

Fuente: Basado en (Socconini, 2013)

Discusión

Con este trabajo quedan claros los conceptos de Lean Manufacturing, Kaizen y herramientas Lean; por otra parte, el tiempo reloj se refiere a la duración total del proceso mientras que el cronómetro lo hace a la duración total de las actividades que solo agregan valor al producto.

4. CONCLUSIONES

Para mejorar la calidad de los productos, se difundió la filosofía Kaizen entre los empleados y el propietario de la microempresa, con la finalidad de crear conciencia y dejar sembrada en ellos la cultura de la mejora continua, sus beneficios, el impacto en sus actividades durante el trabajo, así como en el producto final, además de los beneficios para la microempresa.

A través del análisis minucioso de las operaciones y actividades relacionadas con la elaboración de las obleas se pudieron identificar los puntos críticos en el proceso que resultaban en un producto con deficiencias de calidad, tiempos de proceso más largos, mermas y costos acumulados.

Implementando ideas creativas e involucrando al personal, aprovechando su conocimiento en el proceso y el producto se buscaron y definieron alternativas de cómo y dónde ejecutar las actividades de mejora.

Se diseñó una máquina de obleas, así como el sistema automatizado. El modelo demostrativo muestra los contratiempos que pueden llegar a presentarse en la realidad, dando oportunidad de corrección y sirve de pauta para el perfeccionamiento del modelo real.

Con esta innovación tecnológica incremental se aumentó la productividad y la calidad del producto.

Se diseñó un proceso eficiente con ahorro de energía y de tiempo.

El trabajo contribuye a elevar el ingreso de la microempresa ya que las mermas disminuyen y se ahorran costos. Adicionalmente se incrementa la calidad de vida de los productores al evitar retrabajos y tiempos de procesos.

Se incorporo tecnología apropiada a la microempresa que elabora productos con historia y cultura mexicana, pero que aun siendo tradicionales son sinónimo de calidad y frescura.

Se aumentó la productividad, eficacia y competitividad de la microempresa, logrando un impacto tecnológico, educativo, económico, y ecológico.

5. REFERENCIAS

- Castro, R. J., & González, P. N. (2011). *UAEMex*. Obtenido de <http://web.uaemex.mx/identidad/docs/cronicas/TOMO%20IX/Jaime%20y%20Norma%202011%20Durango.pdf>
- G. Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica*. New York: McGrawHill.
- Ghazali Maarof, M., & Mahmud, F. (2015). A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises. *7th International Economics & Business Management Conference*, 522-531.

- INEGI. *Censos económicos*. (2014). Obtenido de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ce/ce2014/doc/infografias/infmipymes_ce.pdf
- Jordy, M., Medellín, E., Hidalgo, A., & Jasso, J. (2008). *Conocimiento e innovación: retos de la gestión empresarial*. DF: Plaza y Valdés Editores.
- K. Linker, J. (2011). *The Toyota way*. Bogotá: McGraw-Hill.
- M. Lee, S., & Trimi, S. (2016). Innovation for creating a smart future. *Journal of Innovation & Knowledge*, 1-10.
- Mourtzis, D., Papathanasiou, P., & Fotia, S. (2016). Lean Rules Identification and Classification for Manufacturing Industry. *ELSEVIER*, 198-203.
- Norton, R. L. (2014). *Machine design An Integrated Approach*. Worcester: Pearson.
- Ortiz, C. (2010). Kaizen vs. Lean: Distinct but Related. *metalfinishing*, 50-51.
- Socconini, L. (2013). *Lean manufacturing*. Estado de Mexico, Mexico: Norma ediciones.