

DESIGN OF AN ERROR-PROOF DEVICE (POKA YOKE) IN THE CUP MOLDING PROCESS IN A CLOTHING MANUFACTURING COMPANY, HONDURAS

Roberto Enrique Padilla Villanueva, Mechatronic Engineer¹, Alicia María Reyes Duke², Master's degree in engineering²

^{1,2} Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC-Honduras, robertopadillav@unitec.edu, alicia.reyes@unitec.edu.hn

Abstract— Through the study of the cup molding process in the production plant, potential reasons that can cause defects in the parts processed in this area were identified. One of the sources that can be attacked not only for defect generation, but also for savings in other areas as raw material for its manufacture is the use of cooling cones to cool the cups. Through the use of Solidworks, the design of a poka yoke was achieved with the objective of attacking the defects of great depth and little depth in the area. It is possible to provide an alternative that involves a greater order in the workstations, reductions in the search time for cooling cones and an easier method for the associates to use these devices correctly, cooling the cups in the right way.

Keywords— Poka yoke, flaw, too deep, shallow depth

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.597>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

DISEÑO DE DISPOSITIVO A PRUEBA DE ERROR (*POKA YOKE*) EN EL PROCESO DE MOLDEO DE COPAS, EN EMPRESA DE MANUFACTURA DE ROPA, HONDURAS.

Roberto Enrique Padilla Villanueva, Ingeniero Mecatrónico¹, Alicia María Reyes Duke, Magister en Ingeniería²
^{1,2}Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC-Honduras, robertopadillav@unitec.edu, alicia.reyes@unitec.edu.hn

Resumen— Mediante el estudio del proceso de moldeo de copas en la planta de producción se identificaron razones potenciales que

de las fuentes que puede ser atacada no solo por la generación de defecto, pero también por ahorros en otras áreas como materia prima para su fabricación es el uso de *cooling cones* para enfriar las copas. Por medio del uso de Solidworks se logró el diseño de un *poka yoke* con el objetivo de atacar los defectos de mucha profundidad y poca

involucra un mayor orden en las estaciones de trabajo, reducciones de tiempos de búsqueda de *cooling cones* y un método más fácil para los asociados de utilizar de manera correcta estos dispositivos enfriando de manera correcta las copas.

Palabras clave—*poka yoke, defecto, mucha profundidad, poca profundidad*

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo en los procesos de producción los defectos en los productos finales de una empresa han sido un problema el cual afecta diversas áreas como lo son las áreas de producción y financieras.

En el área de moldeo de la empresa hay diversos defectos que se presentan afectando la calidad de los productos lo que hace que sea importante la reducción de estos defectos por los efectos negativos que tienen como el aumento de los costos por reproceso de piezas o el recorte completamente nuevo de las piezas necesarias para remplazar las malas. Esta investigación tiene como objetivo el estudio del proceso de moldeo determinando la causa de los defectos enfocándose en los defectos de mucha y poca profundidad de copas; estudiando el origen de estos defectos con herramientas de *lean manufacturing* para diseñar un dispositivo a prueba de errores, conocido como *Poka yoke*, cuya finalidad es reducir la incidencia de estos defectos.

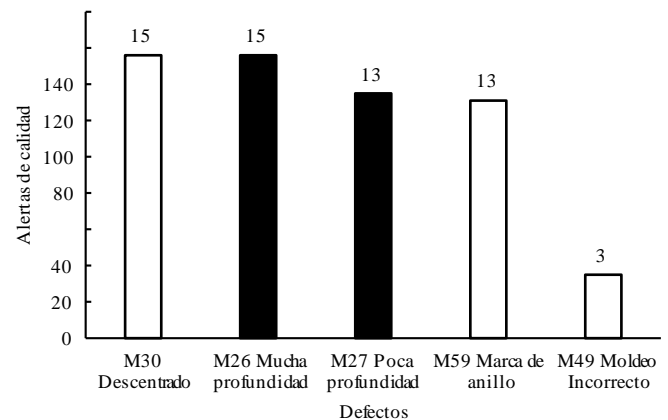


Fig. 1 Top defectos Moldeo 2021

Los códigos M26 y M27 tienen un puesto en el top 5 defectos del 2021 en el área estando en los puestos 2 y 3. Estas gráficas muestran la cantidad de defectos que se detectan en el proceso tomando en cuenta que esto solo representa el número de alertas con esos defectos y la cantidad de piezas malas puede variar entre alertas. En el pasado los defectos de mucha y poca profundidad siempre estuvieron presente en el top defectos del área. La profundidad no solo se ve afectada por variables relacionadas al proceso en la máquina ya que de igual manera influyen variables externas al momento de sacarlas de la maquina como lo puede ser el método de enfriamiento para algunos estilos.

Combinando el porcentaje total entre la mucha y poca profundidad (M26 y M27) observado en la figura 2 existe un total del 47% del total del top defectos lo cual lo coloca en posición de prioridad por el alto reporte que están teniendo en el área. En la planta y sobre todo en el proceso de moldeo la aparición de defectos afecta en diversos aspectos. Tomando en cuenta la cantidad de piezas malas que deben ser reprocesadas o recortadas de nuevo esto eleva los costos de la pieza ya que estas actividades extras no agregan valor al producto final y por lo tanto deben ser eliminadas. Los defectos no solo aumentan el costo de las piezas, sino que también afecta el *lead time* de la empresa representando un gran problema ya que al salir trabajo tarde de la planta eso atrasa la producción en la planta de costura

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.597>
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

donde también debe pasar por diversos procesos para poder llegar al consumidor final.

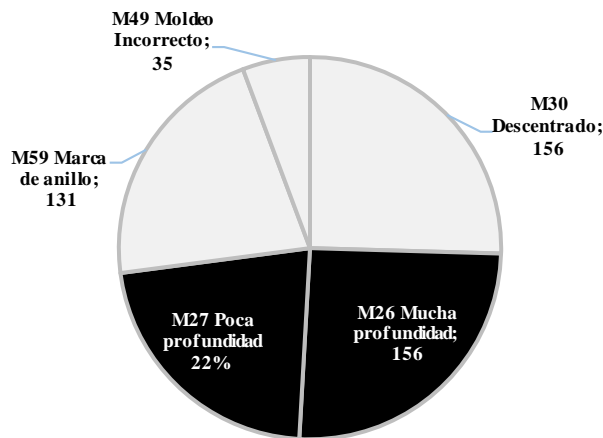


Fig. 2 Porcentaje de impacto de defectos en Moldeo 2021

II. Contexto

A. Calidad

La calidad es un concepto arraigado en la naturaleza humana. Desde su origen humano, entiende que hacer las cosas bien y de la mejor manera posible le otorga una ventaja competitiva frente a sus pares y el entorno en el que interactúa. Ahora, los cambios en el modelo de negocio global, como la globalización, están dando lugar a una cualidad que ya no tiene el contexto explosivo o familiar de años atrás, convirtiéndose en una herramienta de toma de decisiones que debe gestionarse en cualquier organización que quiera asegurar la sostenibilidad. La calidad es un concepto que surge del desarrollo del proceso de control de calidad y se logra a través de la transición del control de procesos que es probando todas las unidades al control de procesos [2].

Esto se hace utilizando herramientas y estándares estadísticos, lo que sienta las bases para el surgimiento de una definición formal de calidad. Esta definición de calidad se puede analizar a través de dos aspectos básicos: el aspecto temporal y el aspecto conceptual, desde la aparición del control estadístico de la calidad.

El concepto de desperdicio en el lugar de trabajo fue descubierto por Frank Gilbreth, quien se enfocaba en la reducción de movimientos en el proceso y menos esfuerzo al momento de realizar un trabajo. También podemos mencionar a Frederick Taylor, quien, a diferencia de Gilbreth, se enfocó en reducir los saltos, con énfasis en reducir el tiempo de actividad. Descubriendo la mejor manera de hacer las cosas ("the best way"), ofrece un estudio del tiempo y el movimiento [3].

B. Poka yokes

La tecnología *Poka yoke* se puede aplicar para prevenir las causas de la falla y para realizar pruebas económicas para determinar si un producto debe aceptarse o rechazarse. No siempre hay un 100% de posibilidades de que se eliminen todos los errores [6]. Los *poka yokes* se dividen en dos clasificaciones basados en método de prevención y método de detección en el cual para esta investigación nos centramos en la prevención con un método de control.

- Basados en la prevención

Este tipo ataca de raíz el defecto previniéndolo y haciendo posible ver la causa raíz:

Métodos de control: ataca la fuente del problema eliminando el defecto. Como se ha mencionado antes no siempre son 100% efectivos, pero si generalmente evitan la mayor parte de los defectos

Los buenos *poka-yoke*, independientemente de su implementación, comparten muchas características comunes:

- son sencillos y baratos. Si son demasiado complicados

o costosos, su uso no será rentable. Para esto se debe comparar el costo del error que se está eliminando y precio que tiene el defecto para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

- son parte del proceso.

• se colocan cerca de donde ocurren los errores, brindando una rápida retroalimentación a los trabajadores para que el error se pueda corregir.

Dentro de los beneficios que trae la aplicación de *poka yokes* son:

- Eliminación de errores de configuración y mejora de la calidad.
- Tiempos de preparación reducidos con reducción asociada en el tiempo de producción y capacidad de producción mejorada.
- Limpieza simplificada y mejorada.
- Mayor seguridad.
- Costos más bajos.
- Requisitos de habilidades más bajos.
- Mayor flexibilidad de producción.
- Mejores actitudes del operador.

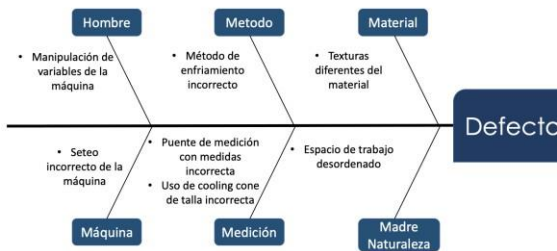
Los *poka yokes* se utilizan para garantizar que los productos y procesos se completen correctamente la primera vez. El objetivo de la corrección de errores es evitar la aparición de defectos y garantizar que los errores se detecten cuando se produzcan. Debido a que las personas pueden cometer errores incluso en la inspección, la corrección de errores a menudo se basa en mecanismos integrados en herramientas o sistemas que señalan automáticamente cuando ocurren problemas o evitan que el proceso continúe hasta que se cumplan las condiciones adecuadas.

III. METODOLOGÍA

A. Técnicas e instrumentos de trabajo

Las técnicas a utilizar para esta investigación son las utilizadas en el proceso de *lean manufacturing* dentro de las plantas que va desde inspecciones hasta herramientas de estudio del proceso como lo son los diagramas de Ishikawa utilizados para la detección del origen de un defecto. Para el diseño mecánico del *poka yoke* se utilizará Solidworks.

- Cinco Porqués: es el método de análisis de causa raíz para resolver el problema. El método de los 5 porqués nos ayuda a descubrir relaciones de causa y efecto para un problema específico. Necesitamos preguntar por qué muchas veces para determinar la causa raíz del problema.
- El Diagrama de Ishikawa: Es una herramienta de calidad que nos ayuda a identificar la causa raíz de un problema, analizando todos los factores que intervienen en la realización del proceso. El diagrama de Ishikawa muestra la relación entre un resultado indeseable o no conforme de un proceso (defecto) y varios factores (causas) que pueden contribuir a ese resultado.



- Inspecciones en el piso de producción: tienen como objetivos observar el proceso, identificar errores y de igual manera tener retroalimentación por parte del equipo de producción ya que ellos son los involucrados en el proceso más de cerca.

B. Metodología de Estudio

Los pasos dentro de esta metodología son bastantes claros con lo que se quiere cumplir y para su mayor comprensión se puede dividir por fases para enfocarnos en la parte investigativa dentro del proceso, la parte de diseño y desarrollo del prototipo y por último en la parte de pruebas y estandarización de cambios al diseño para poder aplicarse en el proceso.

1. La fase de investigación va centrada en analizar e identificar las causas dentro del proceso de producción el cual en este caso sería los defectos de mucha y poca profundidad. En esta fase se logró determinar que una de las fuentes de defectos relacionado a profundidades es el uso inadecuado de los *cooling cones* los cuales son utilizados para enfriar las copas manteniendo su

forma para evitar apilar las copas calientes lo cual puede generar cambios en la profundidad de las mismas.

2. La segunda fase centrada en diseño y desarrollo del prototipo se enfoca en el origen del defecto ya identificado de la primera fase y en la selección del acercamiento adecuado para la resolución del defecto, una vez diseñado el *poka yoke* pasamos a fabricar el prototipo. En este caso el centro de esta fase es el diseño de un mecanismo ajustable en sus variables de diámetro y altura permitiendo un ajuste adaptable a cada una de las copas que se pondrá a enfriar.
3. La última fase se centra en las pruebas con el *poka yoke* y la retroalimentación por parte de los operadores para determinar cambios o mejoras al diseño que se puedan tener para luego estandarizar los cambios del diseño para poder ser replicado y aplicado.

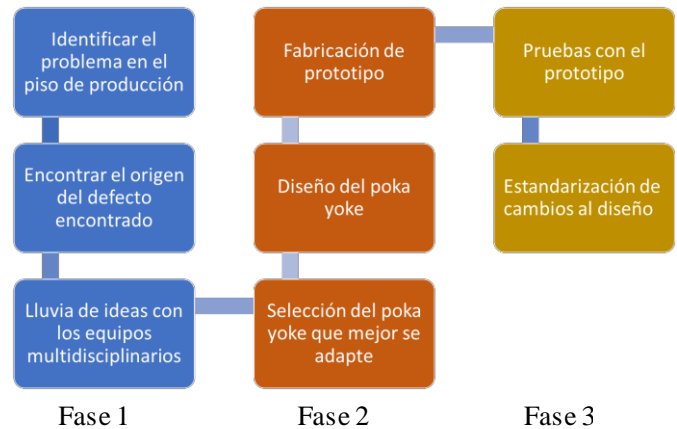


Fig. 3 Metodología resolución práctica de problemas

C. Lean manufacturing

Algunos ejemplos de los fundamentos de la *lean manufacturing* son el hombre, el material y las máquinas, denominados las 3M de la fabricación. Un 3M bien balanceado da como resultado

- Máxima utilización del Hombre - calificado y/o no calificado.
- Flujo de tráfico suave - de materiales, hombre, automotriz.
- Costo mínimo total de fabricación - de los productos producidos.
- Reducir la inversión.
- Reducir los requisitos de mano de obra.
- Utilización de equipos más productivos.
- Disposición de equipos menos productivos.
- Flexibilidad para ser contemporáneo/mantener el ritmo de los cambios del mercado/cliente.
- Aumentar el rendimiento del activo neto.[4].

D. Las 5's

5S también es una estrategia bien conocida para disminuir el desperdicio, aumentar la productividad y hacer visibles las no conformidades en el lugar de trabajo. 5S fue desarrollado en

Japón y ahora se usa en todo el mundo para mejorar las condiciones de trabajo. El enfoque se divide en cinco fases clave, cada una de las cuales comienza con una palabra japonesa que suena como "S", de ahí el nombre 5S [5].

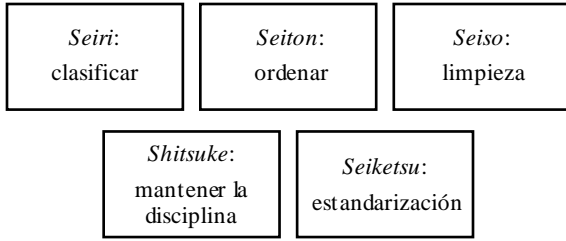


Fig. 4 significado de las 5's

Con la implementación del cambio de *cooling cones* a los ajustables para cada máquina se logra estandarizar el método de enfriamiento de las copas, mantener la limpieza y orden eliminando la necesidad de tener un inventario amplio de *cooling cones* en la planta contemplando también que estos dispositivos se quiebran con facilidad y al irse desgastando pueden llegar a contaminar las copas que se colocan sobre ellos. Se mantiene el orden en el área de trabajo y al no estar en uso proporciona una superficie plana ya que en su altura y diámetro en 0 queda a nivel de la mesa proporcionando una superficie relativamente plana para trabajar y colocar trabajo.

La limpieza y orden en cada una de las áreas de trabajo es fundamental ya que al trabajar con telas y altas temperaturas esto puede hacer que queden manchas si estas llevan partículas de suciedad que pueden ser producto de aglomeración de cosas en el área de trabajo. Al ser los *cooling cones* grandes en tamaño estos pueden acumular tamo a su alrededor lo que puede ser un punto de origen de contaminación a las copas que van a ser moldeadas.

RESULTADOS

Con la información recolectada en la fase 1 de la metodología de investigación logramos identificar puntualmente varias de las variables las cuales pueden afectar la profundidad de una copa las cuales pueden ser:

- Temperatura
- Presión
- Tiempo de moldeo
- Moldes
- Tasos
- Retención
- Manejo por parte del asociado
- Proceso de enfriamiento

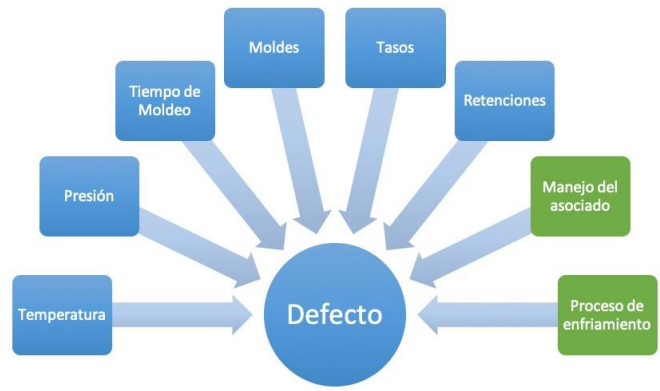


Fig. 5 variables que afectan la aparición de defectos.

Aunque, estas variables parecieran que un cambio mínimo puede causar un defecto este no es el caso ya que la mayoría está estandarizada para tener rangos de acuerdo a los estilos teniendo rangos de tolerancias para evitar la aparición de defectos.

Para poder verificar que las temperaturas, la cual es una de las variables que más influye en la formación de la copa y que esta no estuviese afectando las profundidades por temas de variación se realizaron auditorías a las temperaturas de las máquinas para descartar que estas variaciones de profundidad fueran ocasionadas por variación de la temperatura.

Se logra determinar que de 27 muestras solo 3 necesitaban mantenimiento en 1 de sus cabezales lo cual se determina si la temperatura obtenida supera los 20 °C de diferencia lo cual genera defectos. Haciendo esto que de un total de 216 lecturas diferentes (cada máquina tiene dos cabezales los cuales tienen 4 lecturas diferentes cada una haciendo un total de 8 lecturas diferentes por máquina) solo 4 indicaban un problema de temperatura haciéndolas el 1.38% de las lecturas por lo cual se puede descartar la posibilidad de que toda la presencia de defectos sea por incrementos desapercibidos de la temperatura.

Se logró determinar que el método de enfriamiento es de los que más afecta la profundidad ya que hay estilos que necesitan enfriar mientras mantienen su forma ya que si son empacadas en caliente sus profundidades empezara a variar por el comportamiento del material. Para el proceso de enfriamiento existen los *cooling cones* los cuales absorben el calor mientras mantienen las formas de las copas.

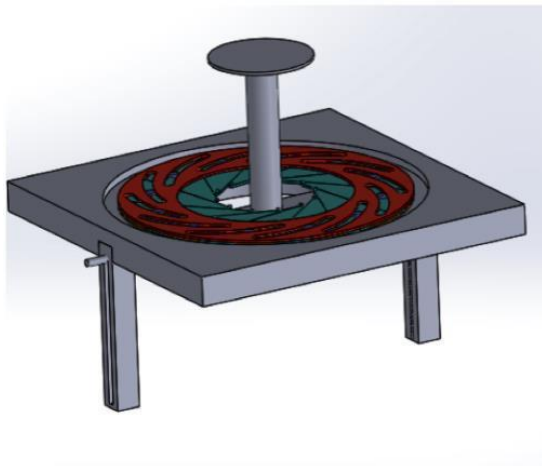


Fig. 6 Diseño de *cooling cone* ajustable

La industria del plástico crece día a día; las nuevas técnicas generadas por la cuarta revolución industrial, como la fabricación aditiva (FA) o más conocida como impresión 3D, ponen al alcance de todos el diseño y producción de productos plásticos [7]. Aprovechando este recurso de la impresión en 3D presente para la planta se procedió a la selección de un *poka yoke* que pueda ser impreso de manera interna para aplicarlo en el área de moldeo.

Este diseño permite adaptar la altura de la base la cual sobre ella va un *cooling cone* de la altura y diámetro mínimo para mantener la forma de la copa y en la parte de la mesa un mecanismo con diámetros ajustables el cual tiene unos pequeños pines en los bordes de cada diente del mecanismo que permite colocar la tela y darle el diámetro deseado manteniendo la forma permitiendo a la copa enfriarse a la temperatura ambiente mientras se procesa el siguiente juego de copas en las máquinas de moldeo.



Fig. 7 Vista superior

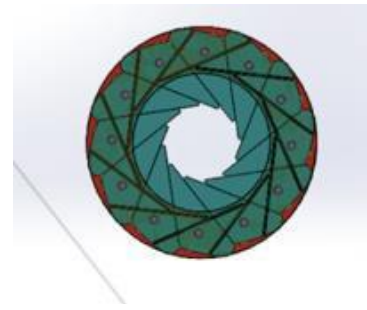


Fig. 8 Vista inferior

El mecanismo para el diámetro cuenta con dos aros los cuales cuentan con rieles que encajan con cada uno de los dientes que cuentan con guías por la parte inferior que encajan con el aro inferior y en la parte superior un pin lo une al aro superior para proporcionar el movimiento para abrir y cerrar la abertura que se tiene al girar el aro superior.

Una vez finalizado el diseño inicial del mecanismo para diámetros ajustables pasamos a la impresión del mismo para realizar el primer prototipo físico entrando a lo que es la fase 3 de la metodología de resolución práctica de problemas.

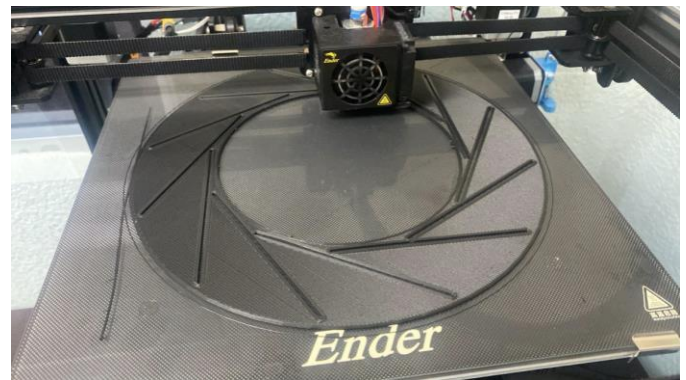


Fig. 8 Proceso de impresión

El proceso de impresión no representa costos inflados de replicación ya que este se realiza de manera interna por medio de una impresora dentro de una de las plantas de la empresa y no se involucran contratistas externos haciendo menos costos el proceso de impresión.



Fig. 9 Mecanismo de diámetros ajustables terminado

Completado el proceso de impresión se logra determinar que el primer mecanismo para alturas ajustables no es conveniente para los asociados ya que este no es ergonómico, los *cooling cones* con alturas estandarizadas son pesados al ser completamente sólidos y sería un proceso bastante incomodo tener que ajustar la altura y medir mientras movemos la base.

Se determinó que la manera más adecuada de poder lograr que el proceso del ajuste de alturas fuera lo más sencillo posible para los asociados y de igual manera lo más ergonómico posible se instaló, al plato que debe moverse para ajustar la altura, un tornillo sin fin el cual con la ayuda de una tuerca soldada a la base hace posible el movimiento ascendente y descendente de la base donde se colocaran los *cooling cones* sin necesidad de tener que mover la base completa por la parte de debajo de la mesa.



Fig. 10 Mecanismo de altura ajustable

De igual manera para reducir el peso de cada uno de los *cooling cones* a utilizar y para hacerlo más fácil de utilizar se procedió a realizar un vaciado interno de los mismos teniendo una reducción significativa de peso y por medio de pruebas en el piso de producción se logró observar que esto alarga su vida y su habilidad de absorber calor ya que se compararon dos *cooling cones* nuevos uno sin el vaciado y con el vaciado y luego de un día de producción el que no tenía vaciado tenía

rajaduras a todo su alrededor y de igual forma estaba a una temperatura más baja a comparación del *cooling cone* con el vaciado.

CONCLUSIONES

- La aplicación de un mecanismo como el *cooling cone* ajustable ayudaría no solo a reducir significativamente la cantidad de defectos, también la cantidad de recursos que se invierten para la fabricación de estos como lo es la materia prima y los empleados en tiempo extra que los fabrican.
- La aplicación de estos *cooling cones* ayuda a implementar las 5S en el área manteniendo un orden en las áreas de trabajo y a reducir el inventario de *cooling cones* existentes dentro de la planta los cuales van de diámetros desde 88 mm hasta 198 mm calibrados en 10mm y una altura de 7/8" hasta 5" calibrado en octavos.
- Para investigaciones a futuro y aplicación en planta se puede analizar la posibilidad para la aplicación de un sistema de enfriamiento integrado por medio de ventiladoras de computadoras o aditamentos similares para la agilización del proceso de enfriamiento
- Como segunda fase del proyecto se puede analizar el cambio de material de los *cooling cones* ya que actualmente estos están realizados con una mezcla especial de yeso lo que los vuelve frágiles y tienden a tener una vida útil bastante corta. Esto da la oportunidad de poder alarga su vida útil y su habilidad de poder enfriar con mayor rapidez las telas

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial para *HANES BRANDS INC.* por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios en temas de información vital importancia y la logística necesaria para el desarrollo exitoso de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). 96 Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.
- [2] Constanza, M., Rodríguez, C., Rozo Rodríguez, D., & Rozo Rodríguez, D. (2009). *El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>
- [3] González Corea, F. (2007). MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING). PRINCIPALES HERRAMIENTAS. In *Revista Panorama Administrativo Año* (Vol. 1, Issue 2).
- [4] Becker, R. M. (1998). *Lean Manufacturing and the Toyota Production System*.
- [5] Narasimhan, G., & Saeed Shamsi, H. (2014). *5S Conditions and Improvement Methodology in Apparel Industry in Pakistan Related papers LEANNESS IN MANUFACTURING OF COIL SPRING APPLYING KAIZEN MET HOD IJESRT Journal International Journal of Quality & Reliability Management 5s-a quality improvement tool for sust aina ... rocky rocks 5S Conditions and Improvement*
- [6] Hiroyuki Hirano. (1989). *Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects - Nikkan Kogyo Shimibun - Google Libros*.

https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=hR_8UJz6d_oC&oi=fnd&pg=PR7&dq=poka+yoke+&ots=k-ScYQrNhF&sig=C_1-VC-LleybDqcvqnrMolCpFw#v=onepage&q=poka%20yoke&f=false

- [7] . Luis Ordoñez Avila, M. Elena Perdomo, M. Yanire Rivas Bejarano, y J. Luis Ordoñez Fernández, «Mechanical Displacement for 3DPrinters' Parts Using FEM as Inverse Engineering Method in Honduras», J. Phys.: Conf. Ser., vol. 1877, n.o 1, p. 012013, abr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1877/1/012013