

Diseño y fabricación de Poka Yokes para las líneas de ensamble de rodamientos de bombas de agua: Caso práctico

Francisco Ortega, José García, Leonel López y Alfonso Lozano

F. Ortega, J. García, L. López y A. Lozano
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Ingeniería Electromecánica. Carretera Irapuato-Silao km 12.5, El Copal. C.P.
36821, Irapuato Guanajuato.
frortega@itesi.edu.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

This paper presents the design and manufacture of a PokaYokes set created for the production line of a company dedicated to manufacture bearings. A practical case of how PokaYokes have brought great benefits to the company increasing the products quality, decreasing scrap and disappearing customer complaints for defective parts. Are presented six PokaYoke that are used to verify the parts specifications made in terms of radial clearance, noise, stamps, weight, height and diameters. As a result of implementing these PokaYokes have disappeared customer complaints in a period of six months that has been using such devices, in addition to saving money by decreasing defective parts, due to which had increased the company productivity.

14 Introducción

Uno de los problemas más comunes dentro de las empresas de manufactura es la entrega al cliente de productos con defectos. Gracias a la adopción de varias técnicas que fueron desarrolladas en Japón hacia la década de 1960 las empresas de manufactura han visto reducidos este tipo de problemas; una de estas técnicas es el uso de PokaYokes.

Robinson (1997) menciona que el término Poka Yoke fue inventado por el ingeniero de procesos japonés Shigeo Shingo en los años sesenta. El término "Poka Yoke" viene de las palabras japonesas "Poka" (el error inadvertido) y "Yoke" (prevenga). La idea esencial de Poka-Yoke es diseñar su proceso para que los errores sean imposibles o por lo menos que sean fácilmente descubiertos y corregidos.

Reyes (2002) comenta que para reducir el número de defectos a niveles de partes por millón (ppm), definitivamente no es posible lograrlo con inspecciones visuales al final del proceso, ya que el humano como inspector puede dejar pasar los defectos por diversas razones (distracción, olvido, cansancio, etc.). Estos niveles de defectos en ppm se pueden lograr a través de la implantación del método de control de calidad que incluye el control estadístico del proceso, inspección en la fuente (cada operador inspecciona su propia operación y la de su antecesor proporcionándole retroalimentación en caso de observar defectos), completamente por una metodología desarrollada por Shigeo Shingo aplicando dispositivos a prueba de errores "PokaYokes". Robinson (2012) comenta que dicha técnica tiene como objetivo eliminar los defectos en un producto previniéndolos o corrigiéndolos lo más pronto posible.

Menciona además que un PokaYoke debe ser un dispositivo sencillo, barato para que sea rentable, se deben colocar cerca del lugar donde ocurre el defecto y deben emitir una señal al momento de detectar una falla para que el operador corrija inmediatamente.

En términos generales un PokaYoke es un dispositivo que permite corregir o prevenir defectos en un producto. Debe ser un dispositivo barato y sencillo que sea rentable y debe colocarse cerca del lugar donde se pretende eliminar el defecto. Millares, Holt, Marin, y Canos (2011) mencionan que el enfoque Poka Yoke se desarrolló en la industria manufacturera como una forma de mejorar la productividad mediante la reducción de errores mediante adaptaciones a menudo muy simples.

Este trabajo sostiene que, los Poka-Yokes están diseñados para hacer la vida más fácil y mejorar el rendimiento de los trabajadores, que se acercan más a la filosofía de diseño universal que a diseño accesible y ofrece una manera fácil e inclusiva de hacer que el trabajo sea más accesible para todo tipo de trabajadores.

Zhang (2010) comenta que el uso extensivo de Poka-Yokes es uno de los dos pilares del Sistema de Producción de Toyota (TPS), a pesar de la adopción mundial de Lean/TPS y la contribución clave del milagro japonés de calidad “Poka Yoke”, ha sido ignorado en gran medida en el mundo académico. El autor introduce el Diseño de Sistemas de Información (DSI) como una nueva forma de diseño para Poka Yoke e ilustra cómo las tecnologías de comunicación inalámbrica aumentan la capacidad de ISD Poka-Yoke. El autor realiza un estudio del caso para explicar cómo los dispositivos inalámbricos habilitados ISD eliminan tres tipos de errores humanos en un proceso de logística de fabricación. En general, los Poka Yoke ISD superan la limitación de diseño de ingeniería tradicional, mediante la ampliación de la aplicación del concepto de Poka Yoke a los procesos que no sean de producción. Con la integración de dispositivos inalámbricos, ISD, incluso se puede utilizar para procesos logísticos a prueba de error que a menudo son móviles en la naturaleza.

Bekenn y Hooper (2009) dicen que si bien no todos los defectos de la hoja de cálculo son de naturaleza estructural, malas decisiones de diseño pueden comprometer la calidad de la hoja de cálculo. Estos defectos se pueden evitar en la fase de desarrollo con algunos dispositivos de detección de error y sencilla prevención. Poka-Yoke, debe su génesis en el Sistema de Producción Toyota (el estándar para la excelencia en la fabricación en todo el mundo) ofrece algunos principios que se pueden aplicar para reducir los defectos de las hojas de cálculo. Los autores analizan la estructura de la hoja de cálculo y cómo se puede llevar algunos Poka-Yokes en hojas de cálculo básicas para reducir los defectos. Estos incluyen directrices sobre la forma de organizar las áreas de células de modo que las filas y columnas enteras se pueden insertar en cualquier lugar sin que causen errores y reglas para cuándo se usen referencias relativas y absolutas con respecto a qué tipo de área está siendo contemplado.

Ruiz y Velásquez (2012) toman como base la metodología de PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Analizar), presentan tres propuestas para dar solución a los problemas de diversidad de piezas en el ensamble de motores en RENAULT-Sofasa. Estas propuestas están asociadas a la implementación de un Poka Yoke luminoso para las zonas de kitting y con él mejorar los indicadores de calidad y plazo de la compañía. Peñaflor (2012) comenta que Lean Manufacturing, es una metodología que establece principios, técnicas y herramientas aplicables a los procesos de producción de las organizaciones. Estos principios son: Definir el valor para el cliente, identificar el flujo de valor, hacer que el valor “fluya” en la cadena de valor, jalar desde el consumidor final y aspirar a la excelencia y son estos principios los que originan la implantación de herramientas y técnicas como: Kanban, Andon, Nivelación de la producción, Poka Yokes. Mantenimiento Preventivo Total entre otras.

Montero (2013) menciona que el éxito de una empresa o dependencia gubernamental está fuertemente vinculado por la calidad de sus productos o servicios y los costos incurridos para su logro. En las últimas tres décadas, las empresas y áreas administrativas de los diferentes gobiernos de los países altamente industrializados han adoptado diversos métodos o sistemas de calidad, con el propósito de satisfacer los requisitos del cliente o ciudadanos a un costo mínimo, sin afectar la calidad de sus productos o servicios.

El sistema de calidad que puede aportar beneficios a una organización compradora o proveedora puede ser el aseguramiento de la calidad razonablemente bien implantado y conceptualizado en su filosofía, ya que a través de este se podrá tener un mayor grado de confiabilidad sobre los suministros. El propósito de un sistema de aseguramiento de calidad es el de integrar las diferentes actividades, establecer políticas y estrategias que sirvan como una guía para el logro de la calidad.

Martins (2010) menciona que la aplicación de dispositivos a prueba de error, ha crecido significativamente en las empresas, sobre todo aquellos que siguen la filosofía de cero defectos o programas específicos de mejora de procesos de fabricación. El Poka Yoke es una herramienta para la mejora de los procesos de fabricación basados en detección de errores. Inicialmente, se consideró un dispositivo físico utilizado para prevenir los errores que puedan ocurrir. Hoy en día, adquiere un significado mucho más amplio, puede ser definido como una herramienta para eliminar errores, una técnica de control de calidad o una filosofía de calidad. El principio básico común es la prevención de los errores.

Soto (2011) comenta que la calidad adquiere valor desde el punto de vista de la producción, el costo, la rentabilidad y ha estado relacionada, hasta mediados del siglo XX, con la inspección como el método ideal para cubrir con los estándares de calidad exigidos por el cliente. Sin embargo esto acarrea altos costos para la organización, debido a que los productos defectuosos eran desechados y se requerían suficientes inspectores para eliminar los defectos. Se plantea la necesidad de contar con una herramienta que previniera los errores o de lo contrario se corrigieran a tiempo. Partiendo de esta premisa, donde la inspección no garantizaba cero defectos, y de llegar a suceder, estaba supeditada a un alto costo, y con la necesidad de superar los estándares de calidad ya vigentes para esa época, el Ingeniero Japonés Shigeo Shingo desarrolla los mecanismos a prueba de falla PokaYoke.”

De Souza (2010) Menciona que la gestión de la calidad está presente en todos los departamentos de las empresas que buscan la mejora continua y la excelencia, así como la preferencia por sus productos y servicios. La tecnología de punta es, sin duda, un aliado en esta búsqueda, sin embargo, proporcionan un ambiente motivador que crea la posibilidad de que se contará con los recursos humanos, la creatividad y el compromiso de convertirse en una toma de corriente que añade valor a través de la baja inversión y alta rentabilidad.

El trabajo muestra un caso práctico donde se describe la problemática que tienen una empresa fabricante de rodamientos para obtener productos con las especificaciones que el cliente requiere y la forma de solucionar esta problemática mediante el diseño y fabricación de varios PokaYokes, los cuales ayudan a obtener productos de calidad y con las tolerancias deseadas. Se muestran la creación de los PokaYokes necesarios para el área de ensamble de rodamientos de bombas de agua y con los cuales se pretende evitar errores, además de prevenir y corregir el proceso en caso de ser defectuoso, esto gracias a que con el uso de PokaYokes es posible detectar fallas antes de que se termine de ensamblar una pieza y se ahorra en material y tiempo que a su vez se traduce en dinero pues se sabe con certeza en que parte del proceso ocurre la falla permitiendo corregirlo de inmediato.

14.1 Metodo

Debido a la entrega de piezas malas de algunos rodamientos de bombas de agua se ha incrementado el scrap de la empresa. A causa de estas situaciones se ha optado por realizar algunas acciones correctivas y preventivas que ayuden a evitar este tipo de situaciones y que a la larga puedan afectar en gran medida la confianza de los clientes por la posible entrega de piezas fuera de las especificaciones marcadas y por consiguiente que estos busquen nuevos proveedores de sus productos y a su vez tanto la imagen como el prestigio de la empresa se vean afectadas.

Una de estas acciones preventivas y correctivas es el uso de PokaYokes, los cuales tienen la finalidad de prevenir que se validen piezas malas como buenas.

La problemática que se presenta en las líneas de ensamble es validar que los parámetros de medición en las estaciones de las líneas de ensamble estén dentro de las tolerancias que se requieren de acuerdo a las especificaciones de cada número de parte. Dicha verificación se debe hacer con ayuda de dispositivos que sean cien por ciento confiables debido a la calidad con la que las piezas deben ser producidas.

Para ello, es necesario tener dispositivos llamados “PokaYokes” correspondientes al número de parte que se esté ensamblando; por tal motivo, dichos dispositivos deben ser fabricados para poder verificar las máquinas así como reducir tiempos y costos en calibración asegurando de esta forma que se produzcan piezas con calidad.

Las principales características que se miden en las líneas de ensamble son las siguientes: juego radial, ruido, sellos, peso, diámetros y altura de flecha. Para cada una de las características anteriores se deben considerar algunas especificaciones que son las que indican cuando una pieza está fuera de los rangos de medición. De esta manera, mediante el uso de los programas precargados a las máquinas, se puede verificar si el PokaYoke es rechazado por la estación de medición. Así se evita medir de forma manual cada pieza y el operador se puede enfocar en realizar actividades de empaque agilizando el proceso de ensamble.

El plan de acción para la elaboración de los PokaYokes que cumplan con las especificaciones necesarias es el siguiente:

- Iniciar la elaboración de PokaYokes de acuerdo al número de parte que se esté corriendo en rectificado de WPB (por sus siglas en inglés Water Pump Bearing)
- Hacer pruebas para comprobar la funcionalidad del PokaYoke.
- Llevar el PokaYoke elaborado a marcar a metrología.
- Colocar los PokaYokes marcados en el carrito de PokaYokes
- Archivar el PokaYoke para tener un control de los PokaYokes que se tienen y saber cuáles faltan.

Los PokaYokes necesarios para que la línea de producción trabaje de forma adecuada y entregue productos de alta calidad son:

- Juego radial
 - a) Pista de bolas
 - b) Pista de rodillos
- Ruido
 - a) Flecha sin honear
 - b) Anillo sin honear
- Sello
 - a) Doble sello
 - b) Sellos invertidos
 - c) Sin sellos
 - d) Sin jaula de bolas
 - e) Sin jaula de rodillos
 - f) Sello levantado
- Peso
 - a) Una bola menos
 - b) Un rodillo menos

- Altura
 - a) Altura menos lado impulsor
 - b) Altura menos lado polea
- Diámetros
 - a) Anillo
 - b) Impulsor
 - c) Polea

14.2 Resultados

En esta sección se presentan los PokaYokes creados para resolver la problemática planteada.

PokaYoke de juego radial

El juego radial se mide mediante un dispositivo que hace presión tanto en la pista de bolas como en la pista de rodillos. Si el juego radial que arroja la lectura esta fuera de los rangos permitidos, la pieza es rechazada. El PokaYoke de juego radial se muestra en la Figura 1.

Figura 14 PokaYoke correspondiente al juego radial de pista de bolas y rodillos



PokaYoke de ruido

Para la característica de ruido, se utiliza un equipo especial el cual hace la medición mediante vibraciones las cuales son mostradas en una pantalla que tiene precargado los rangos en los cuales una pieza es correcta.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la pantalla donde se mide el juego radial. La estación rechaza el PokaYoke o una pieza mala si el espectro negro (ruido medido) sobrepasa los parámetros definidos en el programa (barras verdes).

En las Figuras 3 y 4 se muestran los PokaYokes de ruido. La Figura 3 corresponde al PokaYoke de ruido de anillo sin honear mientras en la Figura 4 corresponde al PokaYoke de ruido de flecha sin honear.

Figura 14.1 Pantalla que muestra los parámetros de la estación de juego radial



Figura 14.2 PokaYoke de ruido de anillo sin honear

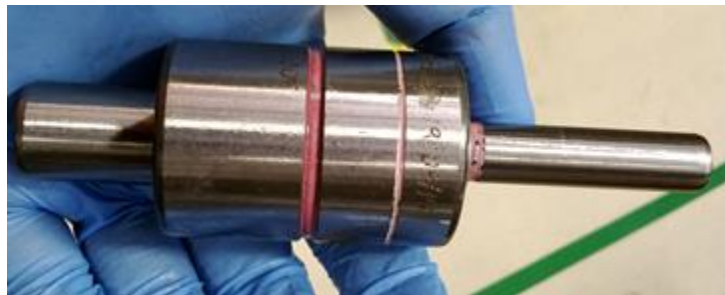
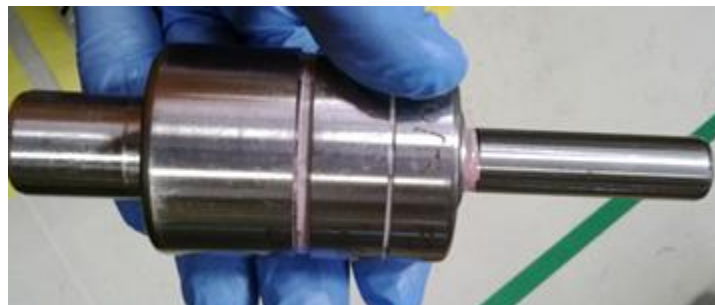


Figura 14.3 PokaYoke de ruido de flecha sin honear



PokaYokes de sellos y jaulas

Los PokaYokes correspondientes a jaulas y sellos se miden en una misma estación.

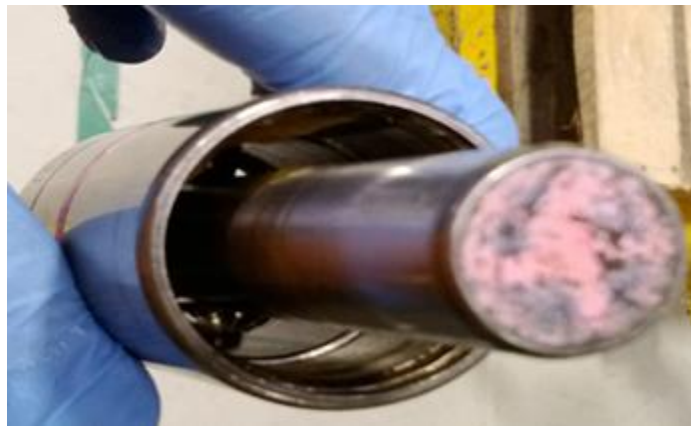
Es por eso que se engloban en un mismo apartado. Para los sellos las mediciones se hacen por medio de palpadores denominados LVDT (Transformador diferencial de variación lineal) los cuales, transmiten una señal al momento de que un dispositivo interno (un resorte) se contrae o se expande con la finalidad de hacer una medición para verificar la profundidad a la que el sello fue ensamblado.

La Figura 5 presenta el PokaYoke correspondiente a la falta de jaula de bolas mientras la Figura 6 muestra el PokaYoke de falta de jaula de rodillos. Los LVDT verifican que la jaula esté dentro de la altura correcta o que tenga jaula.

Figura 14.4 PokaYoke de falta de jaula de bolas



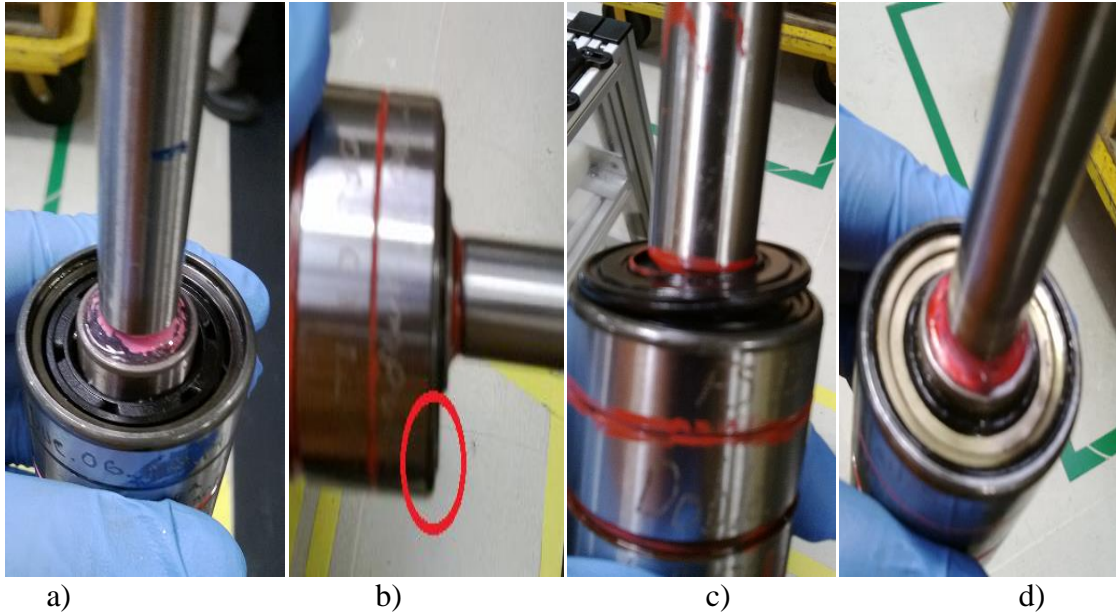
Figura 14.5 PokaYokede falta de jaula de rodillos



En la Figura 7 se muestran los PokaYokes de sellos de lado impulsor (lado largo) correspondientes a sello levantado, falta de sellos, doble sellos y sellos invertidos.

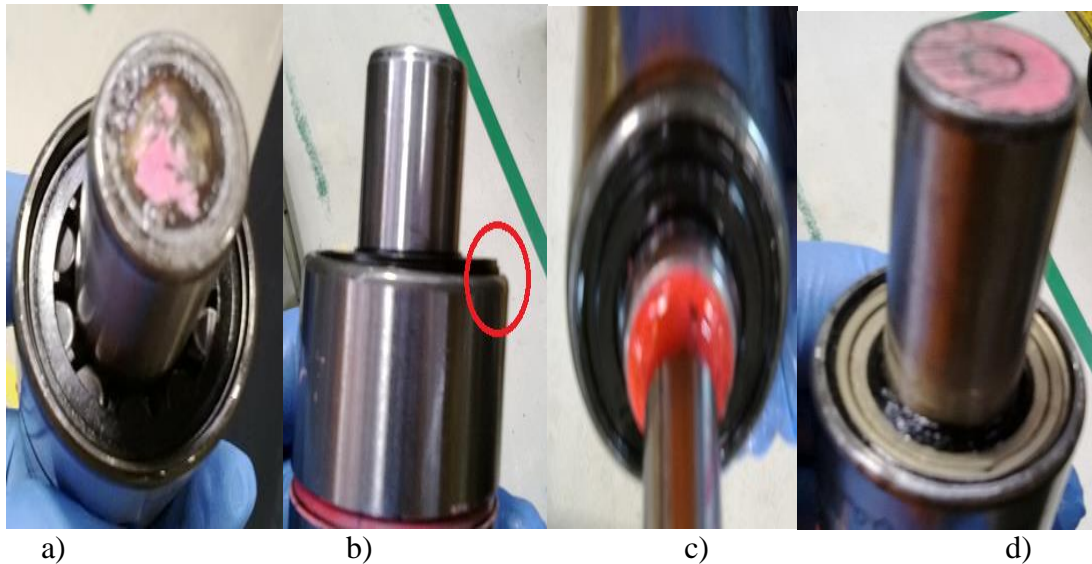
Cabe mencionar que para cualquier número de parte que se ensamble con el mismo sello para ambos lados (impulso y polea) se pueden usar los mismos PokaYokes de sellos para la misma estación ya que las alturas correspondientes a los sellos son igual para ambos lados.

Figura 14.6 a) PokaYoke falta de sello, b) PokaYoke sello levantado, c) PokaYoke doble sello, d) PokaYoke sello invertido



En la Figura 8 se muestran los PokaYokes de sellos del lado polea (lado corto) correspondientes a sello levantado, falta de sellos, doble sellos y sellos invertidos.

Figura 14.7 a) PokaYoke falta de sello, b) PokaYoke sello levantado, c) PokaYoke doble sello, d) PokaYoke sello invertido



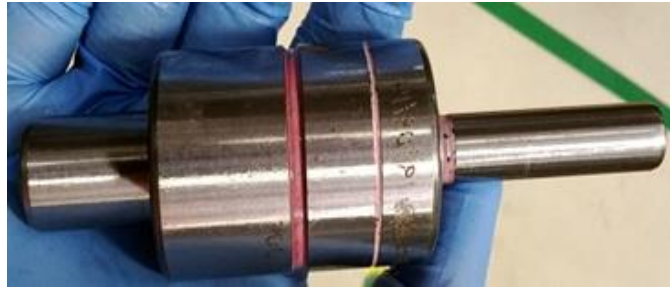
PokaYoke de peso

En la siguiente estación se mide el peso total del rodamiento.

Para el peso, se tiene que considerar que elemento es el más significativo en cuestión de peso para poder verificar que tenga todos los rodillos y todos los balines (bolas). Si la celda de carga que mide el peso detecta una variación, manda una señal que hace que la máquina rechace la pieza mala.

La medición se hace por medio de una celda de carga (dispositivo que cuenta con un resorte interno que mide por medio de la deformación del mismo). El PokaYoke de peso se muestra en la Figura 9

Figura 14.8 PokaYoke de peso bajo



PokaYokes de diámetros

En la siguiente estación se miden los diámetros exteriores de impulsor, anillo y polea. La medición se hace por medio de palpadores LVDT (un palpador para cada parte del rodamiento). El PokaYoke correspondiente a los diámetros exteriores se muestra en la Figura 10.

Para medir los diámetros, se tienen 3 características: anillo, impulsor y polea. Para estas 3 características se tienen palpadores que mandan la lectura a una pantalla y la computadora compara la medición obtenida contra la medición (con los rangos aceptables) para determinar si la pieza es buena o mala. Si una de las 3 características anteriores falla, la pieza es considerada mala.

Figura 14.9 PokaYoke de diámetros exteriores bajo tolerancias

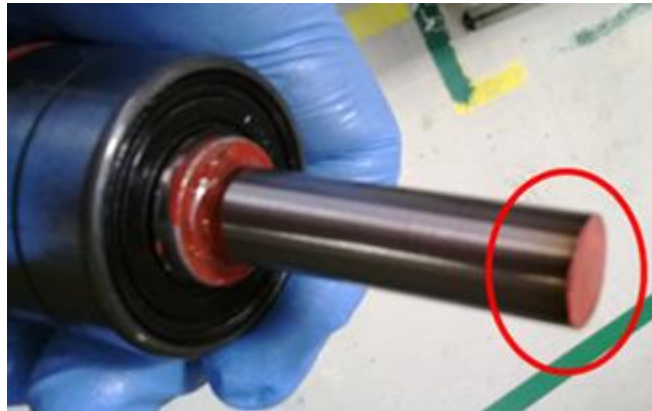


PokaYoke de longitud

Para la altura se tienen palpadores LVDT, los cuales si no detectan una pieza a cierta distancia mandan una señal para rechazar la pieza mala de igual forma si la pieza es más grande.

El PokaYoke de longitud se muestra en la Figura 11. Este PokaYoke debe tener un desbaste en la cara de la flecha de forma que la longitud de la misma esté fuera de las tolerancias de medidas especificadas.

Figura 14.10 PokaYoke de longitud con desbaste en la cara del lado impulsor



14.3 Discusión

Con la elaboración de los PokaYokes referentes a todos los números de parte que se ensamblan en rodamientos de bombas de agua se pretende en primera instancia evitar que se tengan más reclamos de clientes eliminando los riesgos que anteriormente se tenían.

Desde principios de Octubre de 2013 que se terminaron de elaborar los PokaYokes hasta Marzo del 2014 no se tienen reclamos de clientes en el área de ensamble de rodamientos de bombas, pero el proyecto se inicio desde marzo de 2013, dando inicio con los PokaYokes del número de parte que se estaban ensamblando y que eran de mayor importancia debido a la frecuencia con la que se ensamblan.

Cabe mencionar que en el mes de Septiembre del 2013 se tuvo una auditoria de calidad interna donde se cuestiono sobre los métodos de prevención de los problemas que se habían tenido con los clientes, donde el uso de PokaYokes tuvo un rol importante en dicha auditoria pues esta salió positiva en el área de ensamble arrojando resultados positivos hacia el uso de los mismos.

Otro aspecto importante a considerar es que los PokaYokes son validados directamente por el área de metrología lo que hace que estos estén respaldados haciéndolos aun más confiables y por ende se tiene el respaldo de dicha área en caso de haber algún incidente.

14.4 Conclusiones

Con el diseño y fabricación de los PokaYokes se ha logrado no solo evitar incidentes con los clientes sino que se ha logrado corregir partes del proceso que solían no ser inspeccionados tales como ajustar los parámetros de las estaciones de medición de diámetros, medición de alturas, juego radial.

Estos ajustes se han hecho debido a que en algunas ocasiones las piezas en sus diámetros eran pasados como buenos en dichas estaciones lo que ponía en duda si eran confiable debido a esto se verificó una muestra de 25 piezas al doscientos por ciento (inspección automática y manual) dando como resultados que las estaciones estaban mal ajustadas.

Debido a la implementación de los PokaYokes el scrap y los reclamos de los clientes han disminuido. De hecho desde la implantación de los PokaYokes no ha habido reclamos de los clientes por piezas defectuosas. Se pretende que siga sin haber reclamos de clientes en el área de ensamble y corregir alguna otra parte del proceso en caso de que se encuentre alguna falla. También se pretende que los resultados de utilizar esta técnica sean muy positivos lo suficiente como para que las demás áreas la implementen en sus líneas de producción logrando cero defectos, lema de la empresa.

Los PokaYokes han tomado gran importancia dentro de los procesos de la empresa ya que son capaces de evitar defectos en lotes de parte por millón lo que significa un ahorro de dinero para la empresa al evitar que ese material se desperdicie.

Los PokaYokes no solo sirven para corregir defectos en un proceso sino que tienen la función de prevenirlos. Gracias a los diseños de estos, es posible que el operador corrija el error de inmediato ahorrando tiempo debido a que se sabe exactamente en qué parte del proceso ocurrió el defecto. Otra razón de la importancia de los PokaYokes es que son dispositivos baratos, sencillos y eficientes que permiten el ahorro a la empresa al no hacer modificaciones costosas a la maquinaria ni al proceso, simplemente agregando el PokaYoke en el área que se pretende corregir o prevenir los defectos.

14.5 Referencias

Robinson H., (1997), Using Poka-Yoke Techniques for early Defect detection, *Paper presented at the Sixth International Conference on Software Testing Analysis and Review (Star'97)*, 1-12.

Reyes Aguilar P., (2002), Manufactura delgada (Lean) y seis sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones, *Revista Contaduría y Administración*, 205, 51-69.

Miralles C., Holt R., Marin Garcia J. A. y Canos Daros L., (2011), Universal design of workplaces through the use of Poka-Yokes: Case study and implications, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(3), 1-8.

Zhang A., (2010), Dispositivos inalámbricos habilitados. Información y Diseño de Sistemas Poka-Yokes: Un estudio de caso con un proceso logístico Manufactura, *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, 66(3), 1277-1285,

Bekenn B. y Hooper R., (2009), Some Spreadsheet Poka-Yoke, *Journal Proc. European SpreadsheetRisks*, 1, 1-8

Ruiz C., y Velásquez S., (2012), Poka-Yoke luminoso para la preparación de kits en la línea de ensamble de motores de RENAULT-Sofasa, *Universidad Pontificia Boliviana propuesta técnica para la ensambladora Renault-Sofasa*, 1-10.

Peñaflor Zurita A., (2012), Manual de apoyo para la capacitación en Lean manufacturing, (Tesis para obtener el título de ingeniero industrial), Universidad Nacional Autónoma de México.

Montero Andrade J. J., (2013), La relación de calidad - servicio en el departamento de control de Maquinaria del gobierno del Estado de Veracruz, (tesis para obtener el título de ingeniero mecánico electricista), Universidad Veracruzana Facultad de ingeniería mecánica eléctrica.

Martins Nogueira J. L., (2010), Mejora de la calidad a través de sistemas Poka-Yoke, *Revista Escenarios*, 3.

Soto Palomino D. M., (2011), Perspectiva de la gestión de la innovación desde los mecanismos a prueba de falla PokaYoke, *Revista Escenarios*, 9(1), 103-123.

De Souza G. F., (2010), Dispositivos a prueba de fallos, creado por los equipos de trabajo como la mejora continua proyecta, *Revista Tercer Sector*, 4(1), 1.