

## Automatización del Llenado de Tubos para Máquina KATAKEN

Reporte de Proyecto

M.C. Héctor Arellano Rangel, Ing. Roberto Zelada Peña

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Av. López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Balcones de Ojocaliente . Aguascalientes, Ags. Tel: (014) – 9-10-50-02, Fax (014)-9-70-04-23  
[harellanor@hotmail.com](mailto:harellanor@hotmail.com)

### Resumen

En este artículo se presenta el diseño del sistema que automatiza el proceso de llenado de tubos antiestáticos de la máquina modelo KATAKEN la cual forma parte de la línea de producción de la empresa Texas Instruments de México S.A. de C.V. y se encarga del corte, formado, simbolizado y llenado de circuitos integrados.

Con el desarrollo del sistema se logra incrementar el nivel de producción de circuitos integrados, reducir el tiempo de llenado de tubos antiestáticos, facilitar el manejo de la máquina, incrementar la seguridad de los operarios y por lo tanto aumentar la productividad del proceso en su conjunto.

### Palabras clave

Tubos antiestáticos, circuitos integrados, KATAKEN, formado, simbolizado

### Introducción

El desarrollo de la industria electrónica, en particular aquella que se dedica a la producción de circuitos integrados, requiere de maquinaria sumamente precisa y con tecnología de punta para los procesos de ensamblado, enlazado, encapsulado y prueba de sus productos. En la actualidad, en el mercado mundial existen proveedores de equipos con las características antes señaladas, pero sus costos son sumamente elevados, alcanzando algunos de ellos los 100 000 dólares o más, dependiendo de las características de operación y la tecnología empleada, que en cualquiera de los casos y de acuerdo a las condiciones económicas en las cuales se encuentra la industria Nacional y el grado de competitividad que estas empresas tienen con el resto del mundo, resulta prohibitivo invertir en la renovación de este tipo de equipos.

Una buena opción que tiene la industria de producción de circuitos integrados para la actualización de su planta productiva, es la de rediseñar o ajustar los equipos ya existentes a sus condiciones o necesidades particulares, lo que redundaría en un menor costo de inversión, ya que el monto de los recursos que se

destinarían para este fin, serían mínimos comparados con los que se tendrían que aplicar si se adquirieran equipos nuevos, por otra parte, se lograría un aprovechamiento óptimo de su infraestructura, ya que se utilizarían los mismos equipos que se encuentran operando actualmente.

Texas Instruments de México S.A. de C. V. es una de las empresas líderes a nivel mundial en la producción de circuitos integrados, y cuenta en algunas de sus líneas de producción con equipos que tienen una antigüedad de hasta 15 años, por lo que las necesidades actuales han rebasado sus condiciones de operación, razón por la cual esta empresa se ha visto en la necesidad de actualizar dichos equipos.

Debido a que una de las filosofías de esta empresa es la estar en contacto con el entorno y hacerlo participe de sus actividades y de sus beneficios, decide invitar al Instituto Tecnológico de Aguascalientes a colaborar en el proceso de actualización y adaptación de algunos de sus equipos, consciente de la capacidad técnica y el prestigio que esta institución tiene en la región.

El primer proyecto en el cual el Instituto Tecnológico de Aguascalientes a través del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica participa con la empresa, es el de automatizar el proceso de llenado de tubos antiestáticos para la máquina KATAKEN, el cual se desarrolla en un 80% en las instalaciones de la empresa y en un 20% en el laboratorio de Ingeniería Electrónica del Instituto. Cabe mencionar que el proyecto está financiado por CONCYTEA y por Texas Instruments de México S.A. de C.V.

El proceso de llenado de tubos antiestáticos en la máquina KATAKEN se realiza en forma manual por parte de los operarios, los cuales acomodan los tubos sobre una charola metálica aplicándoles presión con la palma de su mano, para que estos queden acomodados correctamente sobre unas guías, las cuales impiden que estos se muevan al momento de ser llenados, a pesar de esto, en ocasiones se genera el problema de mal acomodo de los tubos, lo que propicia un llenado deficiente de los mismos, teniéndose la necesidad de interrumpir la operación de la máquina para realizar los ajustes necesarios y

que el proceso pueda continuar normalmente. Una vez que se han colocado los tubos vacíos en la charola, esta es conducida por el operario a la zona de traslado de la máquina, para que a su vez sea colocada en el área de descarga de circuitos integrados donde los tubos son llenados y una vez que este proceso concluye, la máquina mueve la charola a la zona de descarga, donde nuevamente es tomada por el operario y llevada a una mesa de trabajo donde se realiza el proceso de extracción de tubos de la charola, proceso en el cual el operario debe nuevamente aplicar presión con sus manos para la extracción de los tubos.

De la observación del proceso anterior se detectan los siguientes problemas:

Incremento en los tiempos de producción, debido a que continuamente se generan paros en el proceso de llenado por la deficiente colocación de los tubos.

Aumento en los costos de producción como consecuencia del incremento en los tiempos de producción.

Lesiones de los operarios en las palmas de las manos (quistes sinoviales) debido a la constante aplicación de presión en el proceso de acomodo y retiro de tubos antiestáticos.

Reducción en los niveles de productividad del proceso como consecuencia de los factores anteriormente descritos.

### Desarrollo

Tomando como base los problemas que presenta el equipo, se establecen los requisitos que debe de cubrir el sistema que realiza la automatización del proceso, los cuales se describen a continuación:

**1.- Seguridad.-** El equipo a desarrollar debe de contemplar sensores de presencia en la zona donde exista el riesgo de que el operario pueda sufrir algún daño físico.

**2.- Mantenimiento.-** Con el objeto de reducir los tiempos de mantenimiento, la disposición y el tipo de componentes que se empleen, deberán de ser de la mejor calidad y su ubicación debe ser tal que sean accesibles y fáciles de desmontar.

**3.- Área de trabajo.-** El diseño debe de tomar en cuenta las condiciones de trabajo del área donde será instalado el sistema de control, de tal manera que con su operación no afecte su eficiencia y confiabilidad.

**4.- Ecología.-** El diseño debe de observar todas las normas establecidas por la empresa, en cuanto al cuidado del medio ambiente, tales como ruido, contaminación, etcétera, para que con su operación no afecte el área de influencia.

**5.- Adaptabilidad.-** Como todo sistema que se adapte a un equipo, este debe tener características compatibles al mismo, de tal manera que no modifique

ni altere su operación esto es, tiene que ser prácticamente transparente para dicho equipo.

**6.- Componentes del sistema.-** Los componentes del sistema serán del mismo tipo que los empleados en los equipos de la línea de producción de la empresa, de tal manera que no se genere la necesidad de capacitación.

**Funciones básicas del equipo.-** El sistema debe ser capaz de recibir del operario los tubos antiestáticos vacíos, individualizarlos, orientarlos correctamente, organizarlos en grupos de 14 tubos, trasladarlos a la zona de llenados y concluido este proceso transportarlos hasta el área de recolección de donde finalmente serán retirados por el operario.

En la figura 1 se puede apreciar el diagrama a bloques propuesto para el sistema el cual está formado por tres bloques básicos: el de recepción orientación, el de traslado y el de descarga cuya operación se describe a continuación.

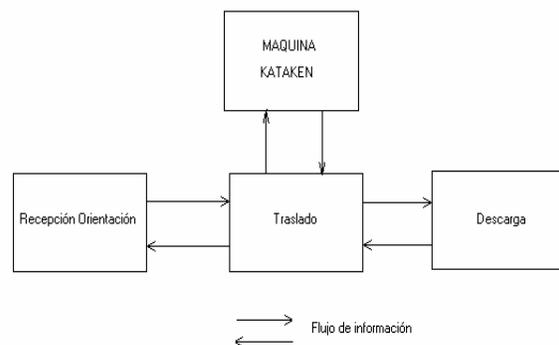


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema.

El bloque de recepción-orientación tiene como propósito albergar en un recipiente los tubos vacíos, separarlos uno a uno, orientarlos correctamente para su llenado, detectar si un tubo está mal colocado y en este caso detener la marcha del mecanismo y mandar un mensaje al operario para que retire el tubo y finalmente detectar cuando se han individualizado 14 tubos, para dar paso a la siguiente etapa.

El bloque de traslado por su parte tiene la función de recoger el grupo de 14 tubos y llevarlos a la zona de llenado, donde la máquina KATAKEN proveerá de circuitos integrados a cada uno de ellos, al momento de que los tubos estén en la posición correcta, estos serán inmovilizados con el propósito de evitar que los circuitos integrados puedan salirse de los tubos durante el proceso de llenado y una vez completada la capacidad de todos y cada uno de los tubos, se detendrá el flujo de circuitos y se dará paso a la última etapa.

Por su parte el bloque de descarga, una vez que los tubos se hallan llenados completamente los conducirá hacia una tolva o recipiente de descarga de donde el

operario tendrá la posibilidad de recogerlos, concluyéndose de esta manera el proceso.

**Descripción del sistema.-** A continuación se realiza una descripción de los elementos que componen cada uno de los bloques del sistema.

**Bloque recepción-orientación.-** Los elementos que componen este bloque son:

*Tolva de depósito.-* Recipiente metálico en donde se colocan los tubos vacíos.

*Flecha de singularizado.-* Varilla metálica que permite que los tubos colocados en la tolva de depósito sean separados de uno en uno.

*Carrusel o cilindro.-* Está constituido por una serie de varillas metálicas dispuestas de tal manera que en conjunto forman un cilindro, los tubos vacíos se colocan en cada una de las varillas para ser transportados al área donde se orientan y se verifica su correcta posición, para posteriormente contarlos y llevarlos a la zona de traslado.

*Brazos elevadores.-* Consta de dos palancas o brazos metálicos que tienen la función de llevar al tubo hasta la zona en la cual se realiza su orientación.

*Mecanismo de orientación.-* Es el encargado de llevar a cabo la orientación del tubo.

En la figura 2 se presenta un esquema del bloque de recepción orientación en la cual se pueden apreciar las partes que lo componen.

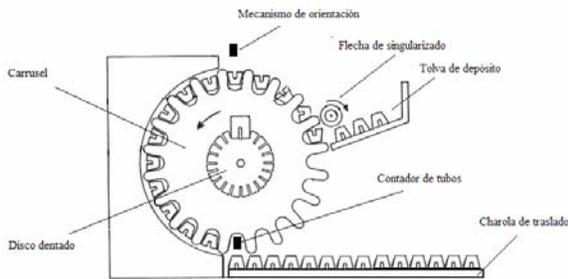


Figura 2. Bloque recepción – orientación.

Los dispositivos empleados para la operación de cada uno de los elementos descritos anteriormente son 2 motores eléctricos de inducción, 3 cilindros neumáticos de simple efecto, 3 electroválvulas, 3 interruptores de fin de carrera, 2 relevadores, 2 sensores fotoeléctricos y 2 sensores de fibra óptica cuyo trabajo es coordinado mediante un PLC.

En la figura 3 se presenta una fotografía del bloque de orientación recepción en la cual se indican los elementos principales que lo componen.

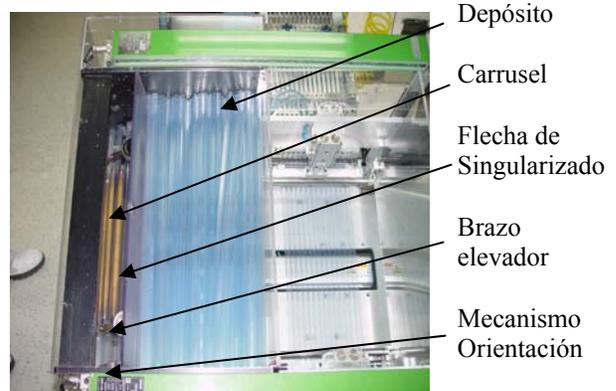


Figura 3. Etapa de recepción orientación.

**Bloque de traslado.-** Esta etapa está constituida por los elementos que se describen a continuación:

*Placa de traslado.-* Placa metálica que se encarga de llevar los tubos vacíos a la zona de llenado.

*Rieles de traslado.-* Varillas cilíndricas metálicas a través de las cuales se desplazan los tubos antiestáticos tanto a la zona de llenado como a la zona de descarga.

*Rieles de sujeción.-* Varillas cilíndricas metálicas que impiden que los tubos se salgan de posición durante su traslado.

*Mecanismo de agujas.-* Conjunto de 28 agujas que regulan el nivel de llenado de los tubos antiestáticos.

*Peinetas inmovilizadoras.-* Mecanismo que asegura la estabilidad y posición de los tubos en la zona de llenado.

*Mecanismo de sujeción.-* Conjunto de 14 cilindros que controlan el flujo de circuitos integrados hacia los tubos antiestáticos.

En la figura 4 se ilustra el bloque de traslado con todos los elementos que lo forman.

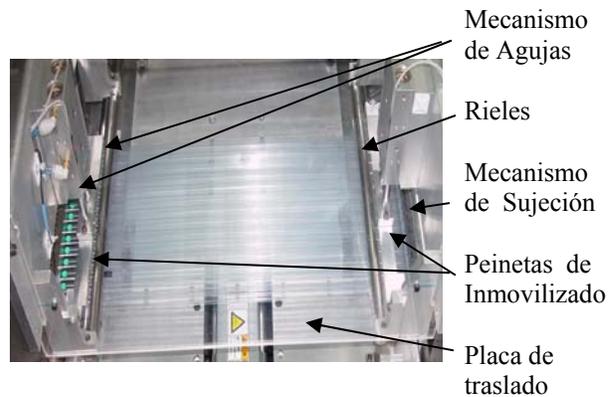


Figura 4.- Bloque de traslado

El bloque de traslado está constituido por 5 cilindros de doble efecto, 5 electroválvulas, un servomotor, 10 interruptores de fin de carrera, un relevador y 3 sensores de fibra óptica, los cuales están coordinados por el mismo PLC de la etapa de recepción orientación.

**Bloque de descarga.-** La etapa de descarga es la última parte del recorrido de los tubos antiestáticos y su función es la de llevarlos a la tolva de descarga, acción que se realiza en forma simultanea con la transferencia de los nuevos tubos vacíos a la zona de llenado, por lo que, prácticamente esta etapa está controlada por la de traslado y su diseño queda incluido dentro del diseño de esta etapa. Los elementos que constituyen este bloque son la placa de transporte y la tolva de descarga. En la figura 5 se presenta la operación de este bloque precisamente en el momento en que los tubos llenos son desplazados a la tolva de descarga.

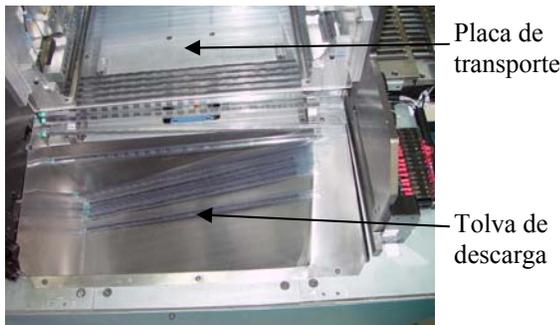


Figura 5.- Proceso de traslado de los tubos.

**Proceso de selección de dispositivos.-** Los dispositivos que forman parte del sistema son seleccionados mediante un proceso que consta de los siguientes pasos:

- Estudio de los requisitos de operación.
- Análisis de alternativas.
- Selección de la mejor alternativa.
- Análisis de los diferentes tipos de dispositivos.
- Determinación del dispositivo más adecuado.
- Análisis matemático del dispositivo.
  - \*Establecimiento de la relación entre variables dependientes e independientes.
  - \*Determinación de la mejor alternativa de control.
- Establecimiento de los parámetros de operación.
- Selección del fabricante.
- Análisis de productos.
- Selección del dispositivo

**Resultados**

**Desarrollo de un método de diseño.-** Debido a que actualmente no existe unanimidad entre los fabricantes

y diseñadores a la hora de establecer un método para el diseño de sistemas que permitan automatizar parte de los procesos de producción de circuitos integrados, en el presente trabajo se desarrolla un método de diseño para la automatización del proceso de llenado, el cual, una vez conocidos los requerimientos de operación, ofrece las herramientas necesarias para determinar con certeza el tipo y las características de cada uno de los elementos que conforman el sistema, mediante un análisis de alternativas y un manejo matemático de los parámetros de operación, lo que a su vez permite el estudio de las diferentes opciones de control del dispositivo, con el propósito de seleccionar el tipo de control individual más adecuado y por lo tanto establecer con una mayor seguridad el tipo de control y el controlador apropiados para el sistema en general.

**Incremento en la productividad.-** Con el propósito de conocer si con la adaptación del subensamble se registra un incremento en la productividad, se lleva a cabo un estudio el cual inicia con la determinación de las variables de entrada y salida necesarias para establecer los valores de productividad, posteriormente se lleva a cabo la captura de datos durante el periodo de estudio, se procede al cálculo de la productividad y finalmente se realiza una prueba de hipótesis para determinar si estadísticamente existe evidencia de un incremento en dicho parámetro.

El estudio se realiza en dos máquinas, una con el subensamble y otra sin el, durante un lapso de 26 días, periodo en el que la producción de la primera máquina exhibe un comportamiento estable y alcanza los niveles de producción establecidos, los valores de productividad resultantes se presentan en la gráfica de la figura 6.

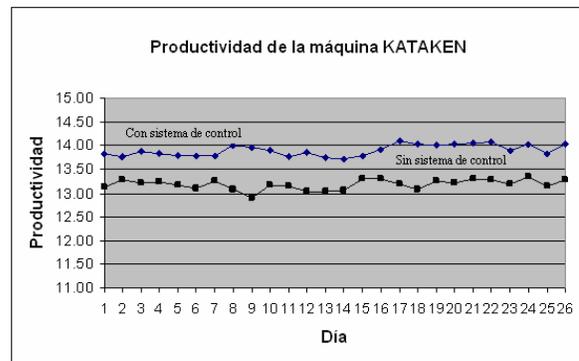


Figura 6.- Productividad durante el periodo de estudio.

Ya conocidos los valores de productividad se efectúa la prueba de hipótesis, realizándose en primera instancia el planteamiento de hipótesis:

Hipótesis nula: Ho:  $\mu_1 = \mu_2$ . (No hay cambio)

Hipótesis alternativa: H1:  $\mu_1 \neq \mu_2$ . (Existe un cambio)

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Posteriormente se lleva a cabo el procedimiento estadístico cuyo resultado indica el rechazo de la hipótesis nula, lo que permite afirmar que existe evidencia estadística de que se presenta un cambio en los niveles de productividad con la adaptación del subensamble. Finalmente se determina el incremento en la productividad tomando como base los datos mostrados en la figura 6 y cuyo resultado establece que se tiene un incremento promedio del 5.47%.

*Automatización del proceso de llenado.-* Con el desarrollo del proyecto se consigue la automatización del proceso de llenado ya que el operario solo tiene que depositar los tubos vacíos en la tolva de carga y de recoger los tubos llenos de la tolva correspondiente, encargándose el sistema del resto del proceso, hecho que contrasta con el proceso anterior donde la mayor parte de las tareas eran realizadas por el operario con las consecuencias previamente mencionadas.

*Aumento en la producción.-* Para cuantificar el incremento en la producción de unidades se consideran las producidas por una máquina KATAKEN sin sistema y las producidas por la máquina que lo tiene adaptado, lo anterior se realiza durante el mismo periodo que el establecido en el estudio de la productividad.

La expresión utilizada para determinar el incremento en los niveles de producción es la siguiente:

$$Ipr = \left( \frac{Nuc}{Nus} - 1 \right) * 100$$

Donde Ipr es el por ciento de incremento en la producción de unidades y Nuc y Nus representan la cantidad de unidades producidas durante el periodo de estudio con el sistema y sin el sistema respectivamente. Al sustituir los datos recopilados en la expresión anterior, el resultado indica que se logra un incremento en la producción de 36.90%.

*Reducción del tiempo de proceso.-* Uno de los factores importantes en el proceso de llenado de tubos es el tiempo de producción, es decir el tiempo que se emplea para llenar los tubos desde el momento en que los tubos vacíos son tomados por el operario y colocados en la máquina KATAKEN, hasta que son recogidos inspeccionados y colocados en los recipientes de empaque.

Para determinar el tiempo de producción se lleva a cabo un estudio en el cual se capturan los tiempos de ejecución de cada una de las etapas del proceso de llenado tanto para una máquina con subensamble y otra sin subensamble. Las etapas que se observan son:

- Transporte y colocación de tubos vacíos.
- Llenado de Tubos.
- Recolección de tubos llenos.
- Inspección y empaque de tubos.

Para cuantificar este parámetro se lleva a cabo la captura de estos tiempos, lo cual se realiza durante un periodo de 10 días tomando un promedio de 20

muestras diarias en forma aleatoria, cabe mencionar que las muestras que se consideran solo son aquellas en las cuales no existe ningún tipo de interrupción durante el proceso, con el propósito de no alterar el estudio.

Una vez obtenidos los datos se procede a obtener un promedio de los tiempos de ambas máquinas, cuyos resultados fueron los siguientes:

Tiempo promedio de máquina sin sistema: 104.34 seg.

Tiempo promedio de máquina con sistema: 94.52 seg.

Tomando en cuenta estos datos, el porcentaje de reducción en el tiempo de producción es de 9.41%.

*Eliminación de lesiones.-* Con la adaptación del sistema los quistes sinoviales que sufrían los operarios se eliminan por completo ya que las tareas que los producían fueron eliminadas y en el nuevo sistema además, todas las zonas donde existe el riesgo de que el operario pueda sufrir algún daño físico, están protegidas y monitoreadas de tal manera que el riesgo de sufrir un accidente es mínimo.

*Desarrollo de software de simulación.-* Se desarrolla un software que permite simular la operación del sistema, con lo que se tiene la posibilidad de llevar a cabo el análisis del trabajo del mismo y facilitar a futuro las posibles modificaciones que mejoren el desempeño del sistema o que le permitan adaptarse a nuevas condiciones de operación.

## Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos se puede afirmar que el objetivo planteado se cumple plenamente, debido a que se logra la automatización del proceso de llenado de tubos. En forma general se puede establecer que con la automatización se optimiza la operación de la máquina KATAKEN ya que además de la mejora en los parámetros de operación, a los trabajadores se les brinda un ambiente con mayor seguridad y se les elimina una de las tareas con mayor grado de dificultad, lo que redundó en un mejor desempeño de los mismos, y en cuanto a la empresa, le permite alcanzar una de sus metas fundamentales que es la de ofrecer un lugar de trabajo seguro y una optimización de sus recursos.

## Referencias

- [1] Chapman, S. J., (1995), *Máquinas eléctricas*, Segunda Edición, Mc Graw Hill (México).
- [2] Deppert, W., (1991), *Aplicación de la neumática*, Marcombo (España).
- [3] Edosomwan, J.A., (1987), *Integrating Productivity and Quality Management*, Industrial Engineering (USA).
- [4] Levin, R., (1988), *Estadística Para Administradores*, Prentice Hall (México).