



Barbiero, Cristina,

Ruiz, María Florencia

Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística

MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA LA MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA DE ENSAMBLE DE BALANZAS ELECTRÓNICAS

1. INTRODUCCIÓN

El camino hacia la Calidad Total, además de requerir el establecimiento de la cultura de la calidad, capacitar y comprometer al personal, desarrollar a los proveedores, tener un enfoque al cliente y planificar integralmente dicha calidad, demanda la utilización masiva del método científico, y más en concreto, de la estadística. Por lo tanto, los métodos estadísticos desempeñan un rol vital en el aseguramiento de la calidad. Constituyen los medios principales para muestrear, probar y evaluar productos o servicios, utilizando información contenida en los procesos que los generan, con el fin de controlar y mejorar los procesos de producción. Un factor clave a considerar en las actividades de control y mejora de la calidad, es la variabilidad de las medidas que la definen, ya que ella identifica su uniformidad. Esta variabilidad de la característica de calidad puede ser considerada de dos formas distintas: la variabilidad natural o inherente, causada por pequeñas causas que por lo general son incontrolables denominadas causas comunes o no asignables de variación, y la variabilidad debida a causas especiales, atribuibles o asignables de variación.

Los estudios de Capacidad de los Procesos están diseñados para medir cuán bien se comporta un proceso con respecto a las especificaciones o requisitos de la organización y se determina a partir de la variabilidad total producida por causas aleatorias, observando la mínima variación que podría obtenerse después de que todas las causas atribuibles se eliminaran. De esta manera, la Capacidad del Proceso representa el "rendimiento" del mismo cuando éste opera en un "estado de control estadístico". Para evaluar si los procesos están en estado de control estadístico, deben utilizarse otros métodos conocidos como Control Estadístico de Procesos (SPC), diseñados para conocer la variabilidad de los factores que integran el proceso y descubrir cambios adversos en el nivel medio de la calidad, lo cual permitirá trabajar con procesos estables, previniendo las disconformidades y logrando una



reducción de los costos.

Frecuentemente se cae en la confusión entre las dos palabras “c”: control y capacidad. Sin embargo el término Control de Procesos se refiere a la “voz del proceso”, por lo tanto se necesitan sólo los datos del proceso para determinar si éste está o no en control estadístico. En este caso no se tienen en cuenta las especificaciones o requerimientos del cliente. Un proceso está bajo control estadístico si el rendimiento medido forma una distribución estable en el tiempo, es decir, con media y desviación estándar invariantes. Esto ocurrirá si las causas especiales se eliminan, de modo tal que sólo las causas aleatorias permanezcan. Sin embargo, que un proceso esté en control estadístico, no necesariamente significa que sea bueno. La bondad del proceso se mide a través de su Capacidad, comparando la “voz del proceso” con la “voz del cliente”, lo cual se mide en términos de las especificaciones o requisitos.

Dentro de los objetivos planteados en el proyecto Métodos Estadísticos en Estrategias de Mejora Continua, que se desarrolla en el IITAE, se planteó el colaborar con empresas del medio en la implementación de procesos de mejora de calidad, basados en la incorporación de metodología estadística. En ese marco, se trabajó en una empresa de ensamble de balanzas electrónicas de nuestro medio, buscando perfeccionar la recolección de registros administrativos para lograr una mejora en la obtención de información sobre las características de ciertos procesos y poder estimar su capacidad productiva.

Desde el año 1963 hasta la actualidad, la mencionada fábrica de balanzas ha sido sinónimo de soluciones tecnológicas innovadoras transformándose hoy en una de las empresas líderes de la industria tecnológica argentina. Ha desarrollado productos para importantes empresas nacionales, ha forjado alianza con una firma pionera de la informática como Hewlett Packard y se ha convertido en uno de los principales exportadores de tecnología de la Argentina.

El desarrollo del primer producto de pesaje en el año 1981, marcó un hito en su historia. Las energías de cada uno de los integrantes de la empresa fueron focalizadas en el desarrollo de nuevas soluciones de pesaje, consolidando el perfil de cara al futuro. En 1985 se lanzó a la venta la primera balanza comercial y en el año 1996 tomó el liderazgo en el mercado de balanzas electrónicas de la Argentina. Los mayores esfuerzos se concentran en la búsqueda del mejor camino hacia la excelencia. En este sentido, han obtenido certificaciones como ISO 9001:2001, ISO 14001, OHSAS 18001 y Pacto Global de Naciones Unidas, iniciativa de la ONU que los compromete a adoptar diez principios universales relacionados con los derechos humanos, las normas laborales, el medio ambiente y la anticorrupción.

La información que se origina en sus actividades diarias, es registrada sistemáticamente a



través de un software de gestión denominado SAP/R3.

Los objetivos fijados fueron: identificar los principales factores que producen las reparaciones de las balanzas dentro del período de ensamble y realizar un análisis de capacidad de proceso sobre la “puesta a tierra” de las balanzas a fin de detectar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones respecto a la seguridad eléctrica establecidas por INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial).

Los análisis realizados a fin de cumplir con estos objetivos son los que se presentan en este trabajo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa realiza registros de calidad de cada uno de los modelos de balanzas allí ensamblados. Estos registros cuentan con información de todas las etapas de montaje.

Para dar respuesta a los objetivos planteados fue necesario transformar los datos recolectados en la empresa sistemáticamente a través del software a fin de armar una base de datos útil para la toma de decisiones, brindando propuestas en pos de la mejora continua.

Cada modelo de balanza requiere de distinto número y tipo de operaciones y para ensamblar cualquiera de ellas, las tareas requieren de la intervención de operarios. Luego de ensamblarlas, controlando que no posean defectos, se realizan ensayos de seguridad eléctrica. En estos ensayos se controlan tres variables: la rigidez dieléctrica, la puesta a tierra y el voltaje de las balanzas. La primera se refiere a la tensión o voltaje máximo que puede soportar un dieléctrico, por ejemplo un cable, sin perder sus propiedades aislantes; y la segunda tiene por objetivo proteger a las personas de recibir una descarga eléctrica por fallas de aislamiento o cortocircuito. Al final se realiza una verificación denominada “Primitiva”, en la que se controlan 5 variables reglamentadas: *linealidad*, *fidelidad*, *excentricidad*, *movilidad* y *efecto máximo del dispositivo de puesta a cero*. Una vez comprobadas todas estas variables, se realiza el “Control final”, que sólo da por asentado el correcto funcionamiento del equipo. Es decir, no se registran los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de la verificación primitiva.

El estudio presentado se basa en uno de los modelos de balanzas ensambladas, del tipo PPI (Peso, Precio, Importe) ideal para su uso en panaderías, verdulerías, carnicerías y autoservicios, entre otros.

Para el análisis de las reparaciones efectuadas durante el período de ensamble de cada



balanza antes de ser embalada, se aplicó la metodología conocida con el nombre de "las 7 herramientas básicas de Ishikawa" y también se plantearon gráficos de control por atributos.

Para vigilar el funcionamiento de las balanzas respecto de la "puesta a tierra", se emplearon gráficos de control por variables y se realizó un análisis de capacidad de proceso.

Para cuantificar la capacidad del proceso se comparan, en procesos que se encuentren bajo control estadístico, los intervalos de variabilidad natural del proceso, con aquellos definidos por las tolerancias técnicas (diferencia entre límite superior y límite inferior de especificación). La variabilidad natural del proceso suele definirse con un intervalo igual a seis veces la dispersión del mismo (rango de 6σ). La comparación se establece a través de la definición de diferentes indicadores. Para su interpretación deben tenerse en cuenta una serie de supuestos que generalmente no se hacen explícitos y que pueden no cumplirse en algunos procesos.

Índices de capacidad de procesos

El Índice o Relación de Capacidad de Proceso (RCP o C_p) fue diseñado con el fin de medir la magnitud de la variación general del proceso en relación a la tolerancia y no tiene en cuenta el centrado del mismo. Los supuestos subyacentes que se consideran son:

- Las especificaciones son bilaterales
- El proceso está perfectamente centrado en el valor nominal (VN) de especificación (punto medio entre el límite superior de especificación (LSE) y el límite inferior de especificación (LIE)).
- El proceso está bajo control estadístico
- La característica de calidad evaluada tiene una distribución normal.

El índice se define como:

$$C_p = \frac{\text{Rango de tolerancia}}{\text{Rango de variación del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

El índice de capacidad C_p puede tomar cualquier valor mayor que 0. Se lo llama *índice de primera generación*. Es deseable que este índice tome valores mayores a 1, eso indicaría que el proceso es capaz. Si es bastante mayor que 1, no es necesario un control estricto del centrado, se puede permitir un desplazamiento del mismo evitando el costo de ajustes frecuentes. Sin embargo, puede ocurrir también que la capacidad sea buena pero que el centrado no lo sea, presentándose la necesidad de tomar acciones correctivas para modificarlo.



El índice C_{pk} (Índice de segunda generación), fue sugerido por Kane en 1986. Incorpora el valor del centrado en su definición.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma} ; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\} = \min \{ C_{pu} ; C_{pl} \}$$

El valor de este índice indicará, además de la capacidad del proceso, si existe un problema con el centrado.

- Si $C_{pu} = C_{pl} \Rightarrow$ El proceso está centrado en el valor nominal de especificación.
- Si $C_{pu} < C_{pl} \Rightarrow$ El proceso está centrado en un valor superior al valor nominal de especificación (disminuir el valor del centrado).
- Si $C_{pu} > C_{pl} \Rightarrow$ El proceso está centrado en un valor inferior al valor nominal de especificación (aumentar el valor del centrado).

El índice C_{pk}^* (Índice de tercera generación) incorpora el desvío del centrado del proceso con respecto a un valor objetivo T .

$$C_{pk}^* = (1 - k)C_p$$

donde

$$k = \begin{cases} \frac{2|T - \bar{x}|}{LSE - LIE} & \text{Cuando } T = \frac{LIE + LSE}{2} \text{ (tolerancia simétrica)} \\ \frac{|T - \bar{x}|}{\min\{LSE - T ; T - LIE\}} & \text{Cuando } T \neq \frac{LIE + LSE}{2} \text{ (tolerancia asimétrica)} \end{cases}$$

y $\bar{x}$ = promedio del proceso

Obsérvese que si el proceso está centrado en el valor objetivo T , el valor de $k = 0$ y en consecuencia $C_{pk}^* = C_p$.

Para el análisis de los datos se utilizaron los software estadísticos Statgraphics Plus y Minitab Release 14.

3. RESULTADOS

Cada balanza ensamblada puede presentar una o más disconformidades. Cada vez que se



presenta una, la balanza es enviada al sector reparaciones por lo que una unidad puede ingresar varias veces a ese sector. De las 5436 balanzas ensambladas en el período bajo estudio, el 8% (434) necesitaron alguna reparación.

La empresa cuenta con una **hoja de comprobación** digitalizada a través del software SAP, denominada Aviso de calidad Q4, donde el operador accede a una clasificación detallada de cada una de las potenciales disconformidades que pueden presentar las balanzas al ser ensambladas. Por lo tanto, cada vez que el operador de reparaciones recibe del sector de ensamble una balanza etiquetada con alguna disconformidad encontrada, éste verifica su existencia, revisa la unidad para comprobar la presencia de otras disconformidades no informadas, realiza las reparaciones necesarias y por último registra en SAP las disconformidades encontradas ubicándolas en las clasificaciones que correspondan. Haciendo uso de esta información se construyó el **diagrama de Pareto** (gráfico 1 del Anexo), para identificar las causas "vitales" que afectan al ensamble de balanzas de manera de actuar prioritariamente sobre ellas.

Según el gráfico 1, se detecta que las principales causas que traen aparejadas reparaciones son las debidas al proceso de ensamble propiamente dicho y a dificultades encontradas con cables/arneses, acumulando el 66,94%, ubicándose en segunda instancia, problemas en plaquetas (20,4%) y celdas (7,6%), que deberían considerarse en una segunda etapa de mejora de calidad.

Haciendo un análisis minucioso para las causas que conforman el objetivo de mejora pudo detectarse que el principal problema en el proceso de ensamble se debe a un ajuste incorrecto (35%), inconveniente que podría estar causado por falta de entrenamiento y eficiencia de los operadores, o por falta de mantenimiento de las herramientas utilizadas.

El problema más frecuente en cables/arneses está relacionado con un crimpeado deficiente y cortocircuitos, inconvenientes que podrían estar causados por defectos del propio cable/arnés, no detectados en los controles de ingresos.

A lo largo del estudio realizado, surgieron una serie de inquietudes acerca de las posibles formas de mejorar el proceso de ensamble de balanzas. Como estos temas están en una etapa inicial de discusión en la empresa, se elaboraron en reunión con los profesionales involucrados **diagramas de espina de pescado** con el planteo de causas principales y secundarias que podían estar afectando esta actividad. (Ver Diagrama en Gráfico 2 del Anexo)

Se implementó por primera vez el **Control estadístico de procesos** a través de gráficos de control por atributos lo que permitió obtener mayor información sobre el proceso de ensam-



ble y contar con una estimación de la proporción de balanzas disconformes del modelo elegido. Después de un período inicial de prueba y habiendo detectado y eliminado las causas asignables de variación, se logró un proceso consistente que arrojó una proporción de balanzas que poseen al menos un defecto de $\hat{p} = 0,0797$.

Del análisis de las causas atribuibles nuevamente queda en evidencia la necesidad de reforzar los conocimientos y habilidades de los operarios para evitar que se sigan produciendo balanzas disconformes.

Usando gráficos de control por variables se controló la característica "puesta a tierra", para luego calcular la capacidad de ese proceso. En primera instancia se comprobó que la distribución adecuada para modelar los valores de la "puesta a tierra" fuera Normal y luego se utilizó un diagrama de control $\bar{X}-R$ con subgrupos de tamaño $n = 5$. Una vez detectadas y eliminadas las causas atribuibles de variación, se encontraron estimaciones consistentes para esta característica hallando que el valor promedio de la puesta a tierra es de 56,65 mil Ω . Este valor resulta ser bastante aceptable teniendo en cuenta que el valor nominal especificado por INTI es de 60 mil Ω y que cuanto menor es, mayor es la protección hacia las personas y en consecuencia mejor es el resultado obtenido. La estimación de la variabilidad resultó de 2,687 mil Ω . Con un proceso bajo control y teniendo en cuenta las especificaciones (60 mil $\Omega \pm 40$ mil Ω .), se calcularon los índices de capacidad (tabla 1).

Tabla N° 1: Índices de capacidad de procesos para la puesta a tierra de las balanzas

Índices de Capacidad	C_p	C_{pu}	C_{pl}	C_{pk}
	4,9621	5,3777	4,5465	4,5465

El valor de los índices evidencia que la tolerancia es mayor que la variación natural del proceso, mostrando que éste es capaz de cumplir ampliamente con los requisitos impuestos por INTI. En este caso, no es necesario un control estricto del centrado, se puede permitir un desplazamiento del mismo evitando el costo de ajustes frecuentes. Resulta lógico que la Empresa no muestre interés en implementar gráficos de control para esta característica, ya que la variabilidad del proceso es bastante menor que el rango de tolerancia, sin embargo hay otros aspectos de mejora que podrían descubrirse al sistematizar la información con estas estrategias de calidad.



4. CONSIDERACIONES FINALES

Las empresas pequeñas o medianas generalmente dirigen sus acciones de crecimiento y desarrollo sin emplear métodos científicos. Las presiones actuales hacia una producción de calidad competitiva están forzando a la puesta en marcha de procesos de mejora, muchos de los cuales requieren del manejo de información cuantitativa y de la implementación de estrategias de control basadas en métodos estadísticos. Muchas veces la ausencia de personal capacitado, hace que esta implementación sea, sino imposible, al menos muy difícil.

Este trabajo ha sido orientado hacia el estudio y aplicación de algunas técnicas de control estadístico de procesos, en una empresa de ensamble de balanzas electrónicas de nuestro medio que se mostró interesada en adquirir experiencia en la aplicación de métodos estadísticos que les permitieran mejorar la calidad de sus procesos.

La estimación del porcentaje de balanzas reparadas sorprendió a los Directivos de la empresa que si bien tenían conocimiento de la existencia de problemas en el ensamble de ese modelo de balanza, nunca lo habían cuantificado.

Se recomendó llevar un registro por operador de manera de identificar si presenta problemas repetitivos y otro por proveedor. Sería necesario reflejar en un archivo la cantidad de piezas disconformes provenientes de diferentes proveedores, que se detectan en el proceso de ensamble. Esto permitiría evaluar diferencias en la calidad de los mismos.

Durante el tiempo que demandó la aplicación de los diferentes métodos en la empresa se destaca que se trató de concientizar a los Directivos acerca de la necesidad de contar con registros adecuados de información. Éstos permitirán obtener resultados confiables a la hora de tomar decisiones que generen acciones de mejora.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Besterfield, Dale H. (2009) "Control de Calidad" (Octava Edición) – Pearson Education - Mexico.



Grant, E. L y Leavenworth, R. S (1996) "Control estadístico de calidad" Editorial Continental.

Juran, J. M. y Gryna, F. M. (1993) – "Manual de control de calidad" Editorial Mc Graw Hill.

Juran, Joseph M. – Medina, Jesús Nicolau –Ballester, Mercedes Gozalbes (1990) – "Juran y el liderazgo para la calidad. Un manual para directivos" – Ediciones Díaz de Santos.

Montgomey, Douglas C. – Runger, George C. (2010) – "Applied Statistics and Probability for Engineers" – Editorial John Wiley and Sons.

Montgomey, Douglas C. (1991) - "Introducción al Control Estadístico de Procesos" – Grupo Editorial Iberoamericana.

Prat Bartés, Albert - Tort Martorell Llabrés, Xavier – Gima Cintras, Pere – Pozueta Fernández, Lourdes (1998) – "Control y mejora de la calidad" – Ediciones UPC.



Gráfico N° 1: Diagrama de Pareto para la identificación de defectos de ensamble

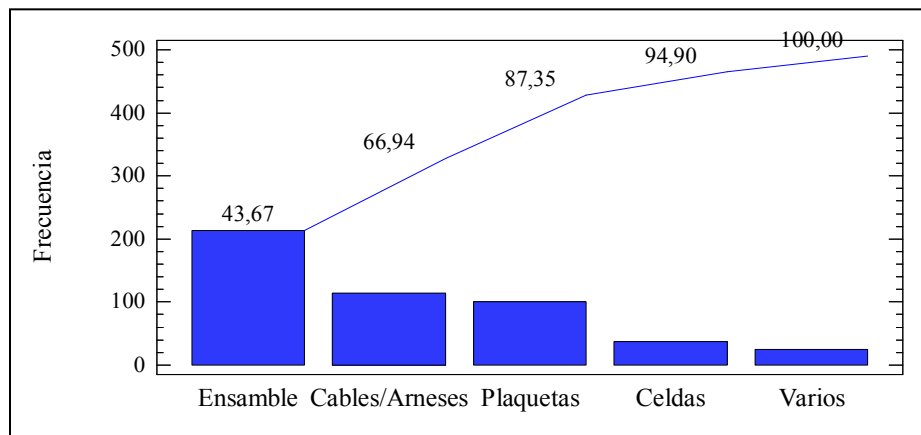


Gráfico 2: Diagrama de espina de pescado

