

Metodología para cálculo de un indicador de capacidad de procesos multivariado para sistemas de gestión integrados

METHODOLOGY FOR CALCULATION OF AN INDICATOR MULTIVARIATE PROCESS CAPABILITY FOR A INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM

Caicedo Solano, Nestor Enrique Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia E-mail: nestor.caicedo@uac.edu.co

Jiménez Bastidas, Elizabeth Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia E-mail: Ejimenez53@hotmail.com

Vélez Carvajal, Shayra Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia E-mail: shayra_vez@yaho.es

Wilches Arango, María Jimena Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia E-mail: mwilches@uac.edu.co

INFORMACIÓN

Recepción: 17-08-2015

Aceptado: 15-09-2015

Publicación: 30-09-2015

RESUMEN

En las compañías manufactureras, es indispensable conocer la capacidad que tienen los procesos de cumplir especificaciones o metas relacionadas con la eficiencia operativa, ya sea al planear las condiciones de calidad en manufactura o al momento de evaluar la gestión a través de los sistemas de gestión integrados. En las décadas recientes ha surgido el concepto de capacidad del proceso o desempeño del proceso, que proporciona una estimación cuantitativa de qué tan conforme es un proceso.

Este trabajo ilustra una metodología para calcular un indicador de capacidad de proceso multivariado validado en una compañía productora de bebidas gaseosas, el cual resume el comportamiento del sistema de gestión integrado y orienta a los administradores de procesos a tomar decisiones estratégicas sobre el control y la mejora de los procesos, con base en la identificación de variables claves de procesos pertenecientes a los diferentes sistemas de gestión, basados históricamente con valores variables analizadas de manera univariada, recurriendo a análisis densos y sin percepción de las correlaciones posibles entre los diferentes factores de los sistemas integrados de gestión de calidad.

La metodología está basada en el análisis de la base de datos correspondiente a los resultados de los indicadores de gestión de los diferentes sistemas de calidad, obtenidos históricamente y almacenados en los sistemas de información de la compañía. Estos datos se trataron como variables aleatorias distribuidas normalmente y agrupadas matemáticamente como variables con comportamientos distribuidos con chi – cuadrado, estableciendo metas o valores nominales de resultados de los sistemas de calidad.

De estos cálculos resultaron valores apropiados a un desarrollo estable del sistema de calidad, logrando disminuir la dispersión a través del cálculo del indicador de capacidad y reflejando la maduración del sistema integral de gestión.

PALABRAS CLAVE: Análisis Multivariado, Calidad, Capacidad de procesos, Mejora continua, Sistemas de gestión.

ABSTRACT

In manufacturing companies, it is essential to know the ability of processes to meet specifications or goals relating to operational efficiency, either in planning quality conditions in manufacturing or when evaluating management through integrated management systems . In recent decades it has emerged the concept of process capability or process performance, which provides a quantitative estimate of how as a process.

This paper illustrates a methodology for calculating an indicator multivariate process capability validated in a company that produces soft drinks, which summarizes the performance of integrated management system and guides the process managers to make strategic decisions on the control and improvement processes, based on identifying key process variables belonging to different management systems, historically based variables univariate, with analysis dense without perception of possible correlations between the various factors of integrated quality management systems .

The methodology is based on the analysis of the database corresponding to the results of the management indicators of the different quality systems, historically obtained and stored in the information systems of the company data. These data were treated as normally distributed random variables, and after grouped mathematically as distributed behaviors chi - square, setting goals or nominal values of results of quality systems.

From these calculations they were appropriate to a stable development of the quality system, decreasing the dispersion by calculating the indicator reflecting the maturation capacity and comprehensive management system of values..

KEYWORDS: Capability, Improvement, Multivariate Analysis, Management Systems, Quality.

Caicedo S., Nestor¹; Jiménez B., Elizabeth²; Vélez C., Shayra³; Wilchez, A., María⁴

INTRODUCCIÓN

Las empresas que operan en el siglo XXI se enfrentan a muchos retos significativos como son la rentabilidad, competitividad, velocidad de los cambios, capacidad de adaptación, crecimiento, tecnología y la globalización (Bsigroup, 2013); este último es una realidad que se encuentra avanzando a pasos agigantados y es del interés de todos los países ya que genera un impacto significativo en los sectores económicos, por este motivo se considera indispensable que las organizaciones cuenten con herramientas adecuadas para enfrentar este entorno más competitivo y variable (Jiménez, 2007).

A raíz de estos y otros retos empresariales las organizaciones necesitan de sistemas de gestión (calidad, ambiental, seguridad y salud ocupacional), que le permitan ejercer un control de forma sistemática de las actividades y procesos, aprovechar y desarrollar el potencial existente y que a la vez ayude al logro de los objetivos (Fraguela, 2011). Para realizar el seguimiento al comportamiento y evolución de estos sistemas de gestión se requiere de un monitoreo continuo a través de indicadores que garanticen de forma constante la información precisa (Cruz Lezama, 2012) para la toma de decisiones, aplicación de correctivos y sistematización de experiencias (DANE, 2010).

La planta de bebidas gaseosas ubicada en la ciudad de Barranquilla – Colombia, cuenta con un Sistema Integral de Calidad basado en un modelo de excelencia, el cual constituye en el marco de referencia para la normativa internacional que la unidad tiene certificados (ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e ISO 22000:2005). En esta organización los indicadores son una herramienta clave, utilizada para la generación de alertas sobre la necesidad de desarrollar acciones correctivas, preventivas y de mejora, con el objetivo de no perder el direccionamiento estratégico del negocio. A pesar de la utilidad que brindan los indicadores en esta organización, actualmente existen y se monitorean constantemente demasiados indicadores que en ocasiones pueden generar confusión en las prioridades (López & Gentile, 2008).

La ausencia de un indicador multivariado de capacidad de proceso afecta directamente el sistema integral de calidad, debido a que no existe un mecanismo que facilite evidenciar la capacidad del sistema completo para dar cumplimiento con los resultados. A través de la construcción de un indicador de este tipo se permitirá la simplificación de la estructura de los datos (indicadores) obteniendo una calificación general de la gestión de la organización y que

esta estructura represente el universo de estudio.

Los índices de capacidad multivariados aparecieron en la literatura durante la década de 1990, la mayoría de ellos asumieron datos normales multivariados, un proceso estable, y fueron generalizaciones de sus homólogos univariados. Se revisaron tres métodos multivariantes en detalle y la capacidad calculada para cuatro problemas (Wang et al, 2001). Se construyeron algunos indicadores dada la elíptica equiprobabilidad de la distribución normal multivariante, suponiendo especificaciones elípticas (Taam et al, 1993). Por su parte Shahriari et al. (1995) propuso un índice de capacidad multivariado de utilización de cajas de procesos hiper-rectangulares en lugar de elipses como el área de especificación, este investigador reconoció la necesidad de múltiples medidas de capacidad multivariado y propusieron un índice de capacidad multivariante con tres componentes vector. Por su parte Chen (1994), propuso un índice de capacidad multivariado general para potenciar el proceso MCp, el objetivo de este enfoque fue la definición de las capacidades multivariadas en una forma general que permite especificaciones elípticas y rectangulares, al mismo tiempo que no requieren de suposición normal multivariada (Foster, 2005).

En el año 2001, se desarrolla una investigación relacionada con la determinación de un proceso estable, evaluando la capacidad de un proceso de distribución no normal basado en una estimación del núcleo de una integral de una densidad multivariada (Polansky, 2001).

Otro enfoque presentado, se basó en identificar las variables claves del proceso asociados a la reducción de la varianza, tras el análisis y el estudio, las recomendaciones sobre la manera de reducir la variación en estas variables se pueden hacer. Las interrelaciones entre un proceso y las partes componentes del pensamiento estadístico (Manson & Young, 2004).

Un estudio posterior describió la necesidad de la construcción de indicadores multivariados teniendo en cuenta que en producciones cortas o pequeñas el número de datos recolectados es mínimo y en este tipo de producciones existen múltiples características de calidad que deben ser evaluadas simultáneamente para determinar la calidad del producto, considerando las correlaciones entre varias características de calidad para desarrollar con precisión el rendimiento de la capacidad de proceso para la producción a corto plazo (Wang C.-h. , 2005).

Foster planteó la posibilidad de presentar un nuevo enfoque para los índices de capacidad multivariantes que utiliza la representación base orientada a procesos independientes mediante el empleo de coeficientes de regresión como datos. Estos coeficientes miden la cantidad de los patrones característicos inducidos por problemas o incidentes particulares que se pueden producir en el sistema. Los ejemplos tomados en este estudio fueron la industria de la electrónica para demostrar el nuevo método de la capacidad de los procesos (Foster, 2005).

En el año 2007, el autor W. L. Pearn, también habla de los múltiples estudios que se han desarrollado sobre capacidades de procesos univariados y la necesidad que

¹ Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia. Línea de Calidad y métodos cuantitativos. nestor.caicedo@uac.edu.co

² Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia. Línea de Calidad y métodos cuantitativos Ejimenez53@hotmail.com

³ Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia. Línea de Calidad y métodos cuantitativos. shayra_vez@yahoos.es

⁴ Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Caribe, Barranquilla, Colombia. Línea de Calidad y métodos cuantitativos. mwilches@uac.edu.co

existe de explotar la utilidad de las capacidades de procesos multivariados usando límites de confianza y transformación de variables para la toma de decisiones que tengan en cuenta varios factores que inciden significativamente sobre los procesos (Pearn, Wang, & Yen, 2007).

Posteriormente en el año 2009, los autores Hamid Shahriari y Mohammadreza Abdollahzadeh publican un estudio basado en el cálculo de capacidades de procesos enfocado a la gestión de procesos considerando que si las características del proceso están altamente correlacionadas, los resultados son mucho más exactos para la toma de decisiones (Shahriari & Abdollahzadeh, 2009).

METODOLOGÍA PROPUESTA

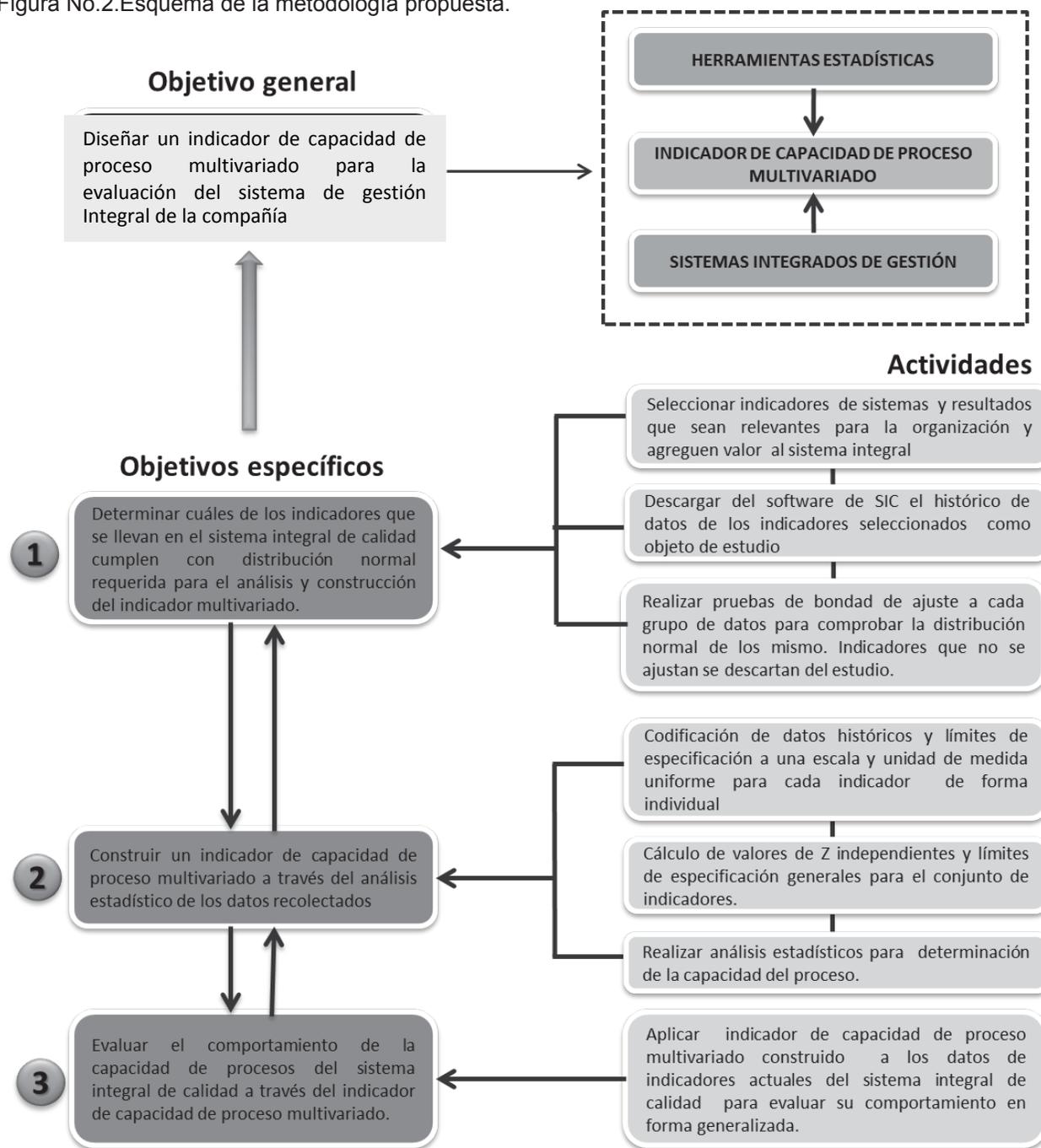
La organización seleccionada para el desarrollo de la investigación cuenta con un sistema integral de calidad (SIC) basado en la estructura de un modelo corporativo de criterios y subcriterios, el cual ha sido instituido como una herramienta para la administración de todas sus unidades operativas y corporativas con el fin de fortalecer una cultura de mejora continua, representado en la figura No. 1.

Figura No.1 Esquema del sistema de gestión integral



Teniendo en cuenta el proceso a seguir con el trabajo, en la figura No.2, se ilustra la metodología desarrollada para alcanzar los objetivos del proyecto.

Figura No.2. Esquema de la metodología propuesta.



El comportamiento y avance en el nivel de madurez del modelo de excelencia se mide a través de la gestión de indicadores, los cuales para la organización se clasifican en dos tipos:

Indicador de sistemas: mide el grado en el que el sistema contribuye al logro de los fines para los cuales fue diseñado, así como al desempeño del servicio o de las tareas realizadas.

Indicador de resultados: son los indicadores que muestran los resultados de los procesos.

Teniendo en cuenta lo anterior en conjunto con la gerencia de la compañía y el comité gerencial de calidad (CGC) se revisaron a detalle 130 indicadores de sistemas y 141 indicadores de resultados y se realizó la primera selección teniendo en cuenta aquellos indicadores que cumplieran con las siguientes características:

Tener impacto sobre alguno de los sistemas de gestión que tiene la organización certificados bajo estándares internacionales (ISO 9001:2008, FSSC 22000, ISO

14001:2004, OHSAS 18001:2007).

Tener un histórico igual o superior a 30 datos, como mínimo para ajustar distribuciones de probabilidad.

No pertenecer a indicadores de tipo financiero.

Cumplimiento permanente con los objetivos planteados, para este caso se tuvo en cuenta indicadores con resultados en 100 o 0 a través del tiempo, con el propósito de no restar capacidad de proceso al sistema eliminando indicadores que cumplen las metas.

Como resultado de este primer filtro se redujo la población a 59 indicadores de sistemas y 69 de resultados, recopilados en el período comprendido entre 2002 y 2013, dado que durante estos años el sistema de gestión fue evolucionando llegando a ser estable luego del 2009 en la configuración y condiciones de desempeño.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Pruebas de Bondad de Ajuste para Indicadores Seleccionados

En esta etapa de la investigación se utilizó el software Statgraphics Centurión®, para realizar las pruebas de bondad de ajuste a los indicadores seleccionados previamente, previo a las pruebas de esfericidad de Bartlett para determinar con P – valores si existen algunas consideraciones sobre las correlaciones entre los diferentes indicadores, dando como resultado un P-Valor = 0.002 < 0.05, lo cual permite rechazar la hipótesis de matriz identidad.

Algunos indicadores, fueron excluidos valores atípicos con ceros (0) consecutivos por no aparecer la información, con el objetivo de evitar sesgos al momento de realizar las pruebas de bondad de ajuste.

Habiendo realizado este segundo filtro para evidenciar el comportamiento de los datos, se obtuvieron 18 indicadores de sistemas y 33 de resultados que se ajustaron a distribución normal.

Para el estudio, adicional a los indicadores mencionados anteriormente se anexó un conjunto de indicadores que a pesar de tener una desviación estándar tendientes a cero, fueron tenidos en cuenta para el análisis de capacidad ya que su comportamiento histórico de cumplimiento de las metas contribuían al resultado final. Las muestras adicionales corresponden a 10 indicadores de sistemas y 10 de resultados.

3.2 Cálculo de Intervalos de

Confianza para Indicadores

Teniendo en cuenta que todos los indicadores presentan diversas escalas y unidades de medición, algunos en porcentajes, índices, kilovatios/litros de bebida, litros de agua/litros de bebida, entre otros, se hizo necesario llevar los datos a un rango y unidad uniforme de modo que fuera posible establecer la capacidad de proceso, para ello se aplicaron intervalos de confianza (Tabla No.1) con niveles de confiabilidad del 99%, para los indicadores cuya escala de medición no se ajustaba a un rango de 0 a 100.

Tabla No.1. Indicadores seleccionados para intervalos de confianza

Variable	Indicador
Calidad de la capacitación	Merma de gas carbónico
Horas de capacitación por empleado	Merma de jarabe terminado carbonatados
Número de proyectos realizados en conjunto con proveedores	Merma de líquido en bodega
Ambiente de control	Número de quejas
Ausentismo por salud	Número de quejas de centros de distribución
Beneficios obtenidos por proyectos terminados en conjunto	Productividad manufactura
Cambios procedentes	Productividad total
Devoluciones procedentes	Promedio de días perdidos por AT
Fallas mecánicas o eléctricas eficiencia perdida por	Rendimiento de Agua
Índice de ausentismo	Rendimiento de energía
Índice de frecuencia de accidentalidad	Satisfacción de clientes
Índice de severidad de accidentalidad	Tasa de accidentalidad
Merma de envase PET OoneWay CBS	

3.3 Codificación de Indicadores y Límites de Especificación

Durante la revisión individual de cada uno de los indicadores se encontró diversidad en las escalas y unidades de medición, por lo cual fue necesario unificar a porcentajes cada uno de los datos históricos y límites de especificación, a través de codificación de los mismos.

Este procedimiento sólo fue realizado para aquellos cuyas escalas y unidades de medición diferían de porcentajes; los indicadores que se encontraban expresados en la escalas de 10 – 100% requerida para el estudio, se trabajaron con sus datos y límites de especificación originales.

3.4 Codificación de histórico de datos y límites de especificación para indicadores con sentido al aumento.

Para el procedimiento de codificación, haciendo uso de los resultados de la aplicación de las fórmulas de intervalos de confianza, se procedió a recalcular los datos históricos aplicando fórmulas de proporción, en las cuales se asume como el 100% el dato resultante del intervalo de confianza superior si el objetivo del indicador es aumentar numéricamente su valor meta.

Para el cálculo de los límites de especificación se requiere seguir el mismo procedimiento realizado anteriormente con el objetivo de tener una escala uniforme y comparable al momento del cálculo del indicador multivariado, para ello se asumió como 100% el intervalo de confianza superior (LES) y con base en este se calcula el LEI a través de proporciones.

3.5 Codificación de histórico de datos para indicadores con sentido a disminuir

La codificación de este tipo de indicadores fue realizada haciendo uso de la siguiente fórmula de fracciones:

$$\text{Dato codificado} = \frac{1}{\text{Dato original}} \times 100$$

3.6 Cálculo de Valores Z para los Indicadores

Habiendo codificado los datos históricos y teniendo los límites de especificación definitivos para cada indicador se procedió a calcular los valores de

Z en la tabla No.2, tomando como base que los indicadores se ajustan a una distribución normal. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$Z = \frac{LEI - \bar{x}}{\sigma}$$

Los indicadores que presentan desviaciones iguales a cero (0), se les asignó un valor de Z igual a 3,6 ya que en este valor el área bajo la curva de distribución normal supone un 99,99% de cumplimiento del indicador.

Tabla No.2. Tabla de conversión a distribuciones estandarizadas

NOMBRE DEL INDICADOR	Z	NOMBRE DEL INDICADOR	Z
Acciones de Mejora cerradas efectivas y a tiempo	- 0,26594486	Devoluciones Procedentes	- 0,29495445
Calidad de la capacitación	-0,230315	Eficiencia Línea 2	- 0,20297783
Calidad Empaque Interno	0,21594668	Eficiencia Línea 3	0,21476985
Certificación del personal en operaciones claves	0,21594668	Eficiencia Línea 4	0,36415999
Cobertura del plan de capacitación	0,20297783	Eficiencia mecánica	0,20297783
Cumplimiento al plan de inversión CAPEX	0,29733539	Eficiencia Total de Línea carbonatados	0,20297783
Cumplimiento al programa de fleteo	0,31414705	Fallas mecánicas o eléctricas eficiencia perdida por mantenimiento	0,38730865
Cumplimiento al programa de mantenimiento programado ZK12	0,22888889	Índice Ausentismo	0,29145788
Cumplimiento de los planes de acción aseguramiento de la calidad	-0,2595356	Índice de Frecuencia de Accidentalidad	1,09397173
Cumplimiento de programa de producción	0,23176811	Índice de Severidad de Accidentalidad	0,10153486
Cumplimiento plan SASSO Salud	0,31414705	Merma de envase pet One way CBS	0,45531068
Eficiencia de Atención a Fleteo Primario	0,25166906	Merma de Gas Carbónico	0,43859241
Horas de capacitación por empleado	0,25551155	Merma de Jarabe terminado carbonatados	0,08120649
Necesidades principales resueltas a tiempo	0,25551155	Merma de Líquido o en Bodega	0,15098982
Número de proyectos realizados en conjunto con proveedores	0,27777034	Número de quejas	0,20738786
Porcentaje de cumplimiento de los compromisos establecidos con la comunidad	0,26594486	Número Quejas de Centros de Distribución	0,30508157

NOMBRE DEL INDICADOR	Z	NOMBRE DEL INDICADOR	Z
Porcentaje de cumplimiento de planes operativos	- 0,23176811	Porcentaje de clientes con quejas.	-0,31414705
Porcentaje de cumplimiento y control del presupuesto	- 0,21594668	Productividad Manufactura	-0,20297783
Alineación con desarrollo Social	3,6	Productividad Total	-0,31055668
Cientes en base de datos con información completa	3,6	Promedio de días perdidos por AT	-0,17302934
Cumplimiento al programa de auditorias	3,6	Remoción de DBO PTAR	-0,21247278
Cumplimiento al programa de inducción	3,6	Rendimiento de Agua	-0,318713
Cumplimiento de la investigación de accidentes e incidentes	3,6	Rendimiento de Energía	-0,20297783
Porcentaje de terceros con salarios mínimos legales o superiores a la ley	3,6	Satisfacción de Clientes	-0,21594668
Personal Certificado en la Utilización de los Sistemas de Información	3,6	Tasa Accidentalidad	0,06206286
Actualización del plan de análisis de riesgos	3,6	Ajuste de inventario de materia prima	3,6
Auditoria de la cultura de información	3,6	Cumplimiento de los objetivos de nuevos procesos productos y servicios	3,6
Porcentaje de Proveedores Estratégicos evaluados	3,6	Resultados de Auditoria	3,6
Ambiente de control	-0,3825324	Cultura de protección de la información	3,6
Ausentismo por salud	- 0,43453977	Cumplimiento CCT PACTO y Ley terceros	3,6
Beneficios obtenidos por proyectos terminados en conjunto	- 0,28296276	Índice de días perdidos por Enfermedad Profesional	3,6
Calidad de Empaque Aguas Envasadas	- 0,27777034	Índice de Fallecimiento por accidente de trabajo	3,6
Calidad de Empaque Franquiado	- 0,21594668	Porcentaje de bajas con antigüedad	3,6

3.7 Definición de Límites de Especificación para el Indicador General

Una vez se tienen las metas definitivas para cada indicador de manera individual se procedió a través de intervalos de confianza a calcular los límites de especificaciones para el conjunto de indicadores. La fórmula utilizada es la siguiente:

La media y la desviación estándar en cada uno de los casos siguientes se calcula con base en los límites de especificación que se tienen de manera individual para cada indicador.

Cálculo de Limite de Especificación Superior

$$LES = 99,77 \pm 2,06 \cdot \frac{111,00}{\sqrt{71}}$$

Cálculo de Límite de Especificación Inferior

$$LES = 88,23 \pm 2,06 \cdot \frac{74,27}{\sqrt{71}}$$

RESULTADOS

El cálculo de la capacidad de proceso fue realizado con la siguiente fórmula, sabiendo que lo que se desea es evaluar el desempeño del proceso, conocido en calidad como el indicador Pp:

$$Pp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

donde se asume como límites (LES: Limite de especificación superior, LEI: límite de especificación inferior), de especificación aquellos que fueron calculados en el paso anterior para el conjunto de indicadores a través de intervalos de confianza y como desviación estándar aquella que abarca el total de histórico de datos de los indicadores.

Reemplazando valores en la fórmula tenemos que:

$$Pp = 1.02$$

$$Ppk = 1.01$$

El cálculo del indicador de capacidad de proceso construido para el Sistema Integral de Calidad de la compañía, reveló un resultado del índice de Pp=1,02, este valor indica que el sistema de la compañía es capaz de sostener los resultados en el tiempo, sin embargo asume valores altos de dispersión y no da cumplimiento a cabalidad con las metas establecidas por la organización, lo anterior se confirma con el cálculo del indicador de capacidad de proceso real que arroja un valor Ppk=1,01 que tiende al límite de especificación superior presentando riesgo de generar eventualmente alguna no conformidad o incumplimiento en las metas definidas para la compañía, teniendo en

cuenta que Pp >1 es óptimo, mientras que se daría una amplia satisfacción si el indicador se obtiene como Pp>1.66.

El reflejo de valores bajos en ambos índices de capacidad se explican debido a la existencia de una desviación estándar muy amplia, tomando como referencia que el sistema de gestión evoluciona en el tiempo y teniendo

en cuenta que la base de datos fue tomada en el periodo entre los años 2002-2013, generando variaciones con base a las metas establecidas para cada uno de ellos.

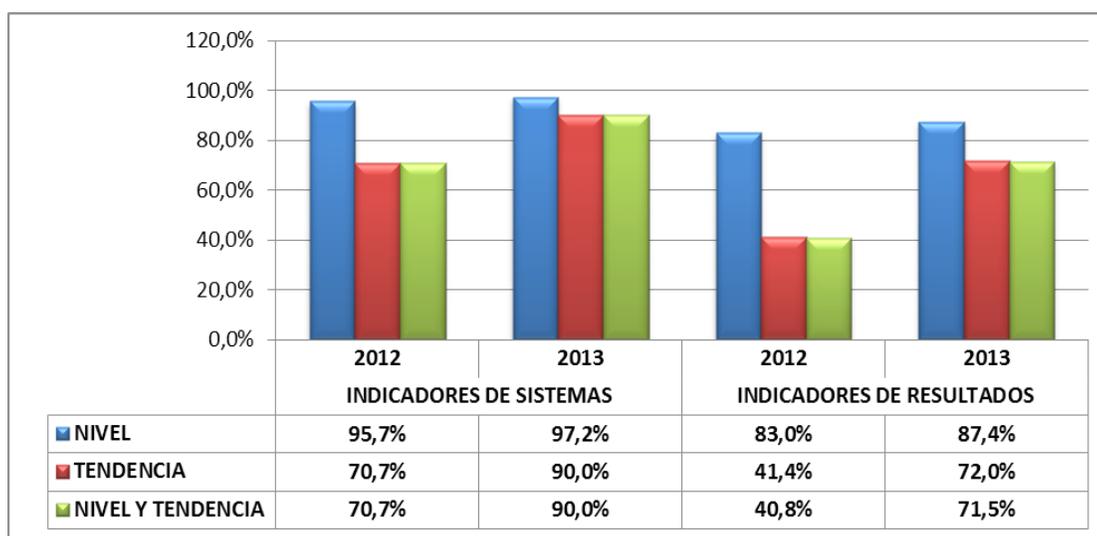
Esta información es corroborada con los análisis internos de la compañía de 2012 y 2013 en relación a cumplimiento de niveles y tendencias (Figura 10), que a criterio interno se entienden como:

Indicadores con nivel: ilustra que se tiene cumplimiento con las metas satisfactorias establecidas.

Indicadores con tendencia: reflejan que durante tres años consecutivos la variable mantiene una proyección al cumplimiento del sentido del indicador.

Indicadores con nivel y tendencia se refiere al cumplimiento de los dos criterios anteriores.

Gráfico No. 1. Análisis Interno 2012-2013 de niveles y tendencias de indicadores de sistemas y resultados.



Teniendo en cuenta estos resultados es posible desarrollar un programa de mejora continua con el objeto de explotar el potencial de mejora en el cumplimiento de las metas.

CONCLUSIONES

El indicador multivariado de capacidad de proceso, diseñado para la aplicación al Sistema Integral de Calidad de la organización, permite evidenciar una predicción cuantificada de la adecuación de los resultados al proceso y evaluando su variación respecto a las metas fijadas.

Adicionalmente, esta nueva metodología permitirá su aplicación cuando las condiciones de las variables sean independientes, el histórico de datos por indicador supere el número total de variables y no exista homogeneidad en las muestras; lo cual la diferencia de las metodologías descritas por otros autores como Chan et al. (1991) donde se basa en una comparación de esperanzas de distribuciones, Taam et al. (1993) quienes proponen un índice construido mediante la comparación de los volúmenes de las regiones de tolerancia natural del proceso y de especificación, y Wang y Du (2000) que propone llevar a cabo el análisis de

capacidad multivariado sobre una transformación de los datos originales, haciendo uso de la técnica multivariada de componentes principales.

TRABAJOS FUTUROS

Para futuros trabajos relacionados con la construcción de un indicador multivariado de este tipo, se recomienda tener en cuenta:

Seleccionar indicadores a través de la aplicación de técnicas grupales como por ejemplo: método Delphi, grupos focales, juicio de expertos, entre otros.

Realizar análisis factorial exploratorio de los datos a través del análisis de componentes principales, determinación del coeficiente KMO para evidencia de otro modo la independencia de los datos.

Considerar la posibilidad de incluir en la construcción

del indicador multivariado de capacidad de proceso, indicadores no ajustados a distribución normal a través de transformación matemática de datos en busca de obtener normalidad en los mismos.

Para el caso de variables correlacionadas revisar la posibilidad de emplear los principios estadísticos descritos en metodologías existentes en la bibliografía relacionadas con índices de capacidad de proceso multivariado.

BIBLIOGRAFIA

Abbasi , B., & Akhavan Niaki, S. (2010). "Estimating process capability indices of multivariate nonnormal processes". *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, Vol 50, pp 823–830.

Amir, A., Bashir, M., Mogouie , H., & Doroudyan, M. (Marzo de 2012). Non-normal multi-response optimization by multivariate process capability index. *Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering*, Vol 19 I6, pp 1894–1905.

Boyles, R. (1996). "Exploratory capability analysis". *Journal of Quality Technology*, Vol 28, pp 91–98.

Brook, R., Glynn, E., & Shekelle, P. (2000). "Defining and measuring quality of care: a perspective from US researchers". *IJQJC*, Vol 12 I4, pp 281-295.

Bsigroup. (2013). The British Standards Institution. Recuperado el 14 de Abril de 2013, de <http://www.bsigroup.com.mx/es-mx/Auditoria-y-Certificacion/Sistemas->

- de-Gestion/De-un-vistazo/Que-son-los-sistemas-de-gestion/
- Castagliola, P., & García Castellanos, J. (2003). "New process capability indices for two quality characteristics". 5th International Industrial Engineering Conference. Quebec, Canada.
- Chan, L., Cheng, S., & Spiring, F. (1991). "A Multivariate Measure of Process Capability". *Journal of modeling and Simulation*, Vol 11 11, pp 1-6.
- Chang, C.-P., & Chu, C.-P. (2008). "Improvement of causal analysis using multivariate statistical process control". *Software Quality Journal*, Vol. 16, pp. 377–409.
- Chen, H. (1994). A multivariate process capability index over a rectangular solid tolerance zone. *Statistica Sinica*, Vol 4, pp 749–758.
- Chen, K., Pearn, W., & Lin, P. (2003). Chen, K. S., Pearn, W. L., Lin, P. C. (2003). Capability measures for process with multiple characteristics. "Quality and Reliability Engineering International", Vol 11, pp 101–110.
- DANE. (2010). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado el 14 de Abril de 2013, de http://cursos.campusvirtualsp.org/pluginfile.php/13971/mod_resource/content/1/Guia_construccion_interpretacion_indicadores.pdf
- Ebadi, M., & Amirib, A. (2012). "Evaluation of process capability in multivariate simple linear profiles". *Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering*, Vol 19 16, pp 1960–1968.
- Femsa, C. C. (2013). Herramienta de Criterios del Sistema Integral de Calidad. (G. d. Calidad, Ed.) México, DF., México, México.
- Foster H. (2005). The process-oriented multivariate capability index. *International Journal of Production Research*, Vol. 43 (No. 10), pp 2135–2148.
- Holmes, D., & Mergen, A. (1999). "Measuring process performance for multiple variables". *Quality Engineering*, Vol 11, pp 661–665.
- ISO Organization. (2005). NTC ISO 9000 Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario. Bogotá, Colombia: Icontec.
- ITCH. (s.f.). Instituto tecnológico de Chihuahua. Recuperado el 15 de Junio de 2013, de <http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/u0304.pdf>
- Jackson, J. (1980). "Principal Component and Factor Analysis: Part 1 – Principal Components". *Journal of Quality Technology*, Vol 12, pp 201-213.
- Juan, A., Sedano, M., & Vila, A. (15 de Junio de 2013). Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Obtenido de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Distrib_Normal.pdf
- Lane, D. (2007). Conexions. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.statru.org/wp-content/uploads/2011/01/Reference.pdf>
- Ledezma, A. (s.f.). Facultad de Ingeniería. Universidad de la Plata. Recuperado el 15 de Junio de 2013, de http://www.ing.unlp.edu.ar/fismat/estadistica/estadistica/archivos/capitulo3_distribucionesmuestrales_ledesma2009.pdf
- López, M. T., & Gentile, N. (Septiembre de 2008). Sistema de indicadores económicos y sociales: la importancia del análisis integrado. Recuperado el 14 de Abril de 2013, de http://www.econ.uba.ar/planfenix/economias_regionales/comision%20C/06-Lopez-Gentili%203.pdf
- Manson, R., & Young, J. (2004). "A multivariate thinking". *Quality Progress*, Vol. 37 (No. 4), pp 89 - 97.
- Martínez de Lejarza, J., & Martínez de Lejarza, I. (2011). Universidad de Valencia. Recuperado el 2013 de Junio, de http://ocw.uv.es/ciencias-sociales-y-juridicas/estadistica/estadistica10d_vale.pdf
- Pal, S. (1999). Performance evaluation of a bivariate normal process. *Quality Engineering*, Vol 11, pp 379–386.
- Pearn, W., Wang, F., & Yen, C. (2007). Multivariate Capability Indices: Distributional and Inferential Properties. *Journal of Applied Statistics*, Vol. 34(No. 8), pp. 941–962.
- Polanski, A. (2001). "A smooth non parametric approach to multivariate process capability". *Technometrics*, Vol. 43 (No. 2), pp 199-211.
- Quaglino, M., Pagura, J., Dianda, D., Hernández, L., & Puigsubira, C. (Noviembre de 2011). Índices multivariados de capacidad de procesos. En A. d. Estadística. (Ed.).
- Quevedo, H. (Agosto de 2006). Métodos Estadísticos para la Ingeniería Ambiental y la Ciencia. México: Biblioteca Virtual de la Universidad Autónoma de Cd. Juárez.
- Rius Díaz, F. (1999). Bioestadística Métodos y Aplicaciones. Recuperado el 14 de Abril de 2014, de Universidad de Málaga: <http://www.bioestadistica.uma.es/libro/>
- Rodríguez, A. L. (Noviembre de 2010). Estadística. Recuperado el 04 de Abril de 2014, de http://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/E_itis/Tema3_4_guion.pdf
- Shahriari, H., & Abdollahzadeh, M. (2009). A New Multivariate Process Capability Vector. *Quality Engineering*. Vol. 21, pp. 290–299.
- Shahriari, H., Hubele, N., & Lawrence, F. (1995). A multivariate process capability vector. 4th Industrial Engineering Research Conference, Institute of Industrial Engineers, pp 304–309).
- Taam, W., Subbaiah, P., & Liddy, J. (1993). A note on multivariate process capability indices. *Journal of Applied Statistics*, 20, 339–351.

- Veevers, A. (1998). Viability & capability indexes for multiple response processes. *Journal of Applied Statistics*, 25, 241–256.
- Wang, C.-h. (2005). Constructing multivariate process capability indices for short-run production. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 26, pp 1306–1311.
- Wang, F., & Chen, J. (1999). Capability index using principal component analysis. *Quality Engineering*, 11, 21–27.
- Wang, F., & Du, T. (2000). Using Principle Component Analysis in Process Performance for Multivariate Data. *Omega*, Vol 28 I2, pp 185-194.
- Wang, F., Hubele, N., Lawrence, F., Miskulin, J., & Shahriari, H. (2000). Comparison of three multivariate process capability indices. *Journal of Quality Technology*, Vol. 32, pp. 263–275.