

Influencia de la medición en la aplicación del control estadístico de procesos en el contexto del software

Bibiana Y. Garcés
Grupo TIC Unicomfacauca
Corporación Universitaria Comfacauca
bgarcés@unicomfacauca.edu.co

Francisco J. Pino
2Grupo IDIS
Universidad del Cauca

Fecha Recepción: 20/10/14 - Fecha Aprobación: 15/12/14

Resumen: La mejora de procesos software (SPI) requiere de técnicas avanzadas para la gestión cuantitativa de procesos, de modo que a partir del análisis de los indicadores relevantes en la organización se pueda facilitar la toma de decisiones para dicha mejora. Dentro del conjunto de técnicas merece especial atención el Control Estadístico de Procesos (SPC), el cual ha ido ganando aceptación en las empresas que se preparan para alcanzar altos grados de madurez en sus procesos y que requieren implementar programas de medición. Al identificar los métodos más adecuados que permiten aplicar Control Estadístico de Procesos se han evidenciado los temas críticos, éstos permiten reconocer los aspectos concretos donde las métricas y los datos pueden influir de manera crítica en la aplicación y desempeño de las técnicas del SPC, aspectos que muestran los esfuerzos iniciales antes de empezar a utilizar SPC como una estrategia efectiva para la mejora y gestión cuantitativa de los procesos software.

Palabras clave: Control estadístico de procesos, métricas, procesos de software

Abstract: The software process improvement (SPI) requires advanced for quantitative process management, so that, from the analysis of relevant indicators in the organization can facilitate decision-making for such improvement techniques. Within the set of techniques deserves special attention the Statistical Process Control (SPC) has been gaining acceptance in companies that are prepared to achieve high levels of maturity in their processes and implement programs that require measurement. By identifying the most appropriate methods to apply Statistical Process Control have demonstrated the critical issues that can recognize the specific areas where the metrics and data can critically influence the implementation and performance of SPC techniques, these aspects show the initial efforts before you actually start using SPC as an effective strategy to improve and quantitative management of software processes.

Keywords: Statistical Process Control, Metrics, Software Process

1. Introducción

El presente artículo expone los resultados de un estudio basado en revisión sistemática de la literatura sobre la aplicación de técnicas estadísticas avanzadas del control estadístico de procesos (SPC) en procesos software, los cuales han permitido establecer el punto de partida para identificar los métodos más adecuados para aplicar SPC y su implantación como estrategia efectiva para el mejoramiento de la gestión cuantitativa en los procesos software. También ha evidenciado los temas críticos para el éxito en la implementación de SPC como: i) la estabilidad del proceso, ii) la capacidad de medición

y iii) la confiabilidad de los datos [1], [2], [3], [4], [5]. De estas listas, se definen una serie de requisitos que deben ser previamente cumplidos para el uso de SPC en las organizaciones desarrolladoras de software.

En otras palabras, si se ha estandarizado el proceso, se han seleccionado las métricas correctas y se ha establecido un mecanismo confiable de recolección de datos, puede ser posible beneficiarse de la aplicación de las técnicas SPC como una herramienta estratégica para la detección de anomalías y eliminación de defectos.

En este sentido, un factor de éxito en cualquier organización, dedicada a la producción de software, depende de la capacidad de hacer predicciones acerca de sus procesos. La eficiencia en la medición de éstos ayuda a los grupos de desarrollo del software a comprender sus capacidades, a fin de que puedan desarrollar planes viables para producir y entregar productos y servicios [6]. Para [3], la medición de software por sí sola no puede resolver estos problemas, pero puede aclarar y centrar su comprensión en ellos. Además, cuando se efectúan correctamente mediciones secuenciales de atributos de la calidad de los productos y procesos, puede proporcionarse una base eficaz para iniciar la gestión de las actividades de mejora de los mismos. En [7], se sugiere mejorar la calidad de los datos y de la información a través de la gestión de la calidad de datos e información, implementando las correspondientes estrategias organizacionales.

Las organizaciones se apoyan en datos válidos, los datos se usan para la gestión de programas, tomar decisiones, priorizar oportunidades y guiar estrategias de planeación. El problema con la baja calidad de datos es que conduce a decisiones desacertadas. Se resalta así que las acciones necesarias para corregir errores de datos puede ser muy costosa [8], [9].

En este contexto, se puede observar que aspectos relacionados con las métricas y los datos pueden influir de manera crítica en la aplicación y desempeño de las técnicas del SPC en el contexto de empresas desarrolladoras de software. Estos aspectos de medición son esfuerzos iniciales y fundamentales antes de realmente empezar a utilizar técnicas de SPC, con el fin de mantener procesos software bajo gestión cuantitativa. Asimismo, hay que considerar la idoneidad de las métricas y la calidad de los datos recolectados de éstas cuando se va a aplicar SPC en una organización. En este sentido, este artículo presenta una reflexión sobre idoneidad de los datos y métricas para el control estadístico de procesos en el contexto de las empresas desarrolladoras de software.

De esta manera, el artículo se estructura de la siguiente forma: la sección que se desarrollará a continuación muestra algunos conceptos de SPC; en la sección 3 se describe la influencia de las métricas y los datos en la aplicación de SPC, y finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2 Marco Conceptual

2.1 SPC

Walter Shewhart introduce por primera vez la técnica SPC EN 1930 [10]. Según el Informe Técnico ISO/TR 10017, la utilidad de técnicas estadísticas radica en facilitar el control de la variabilidad que puede ser observada en el comportamiento y resultado de prácticamente todos los procesos, aún bajo condiciones aparentemente estables, y presenta a SPC dentro del conjunto de técnicas estadísticas más utilizadas [11]. El uso de SPC en la industria del software comenzó en los años 80, cuando ciertos investigadores empezaron a utilizar SPC como herramienta de mejora de procesos [2], [3].

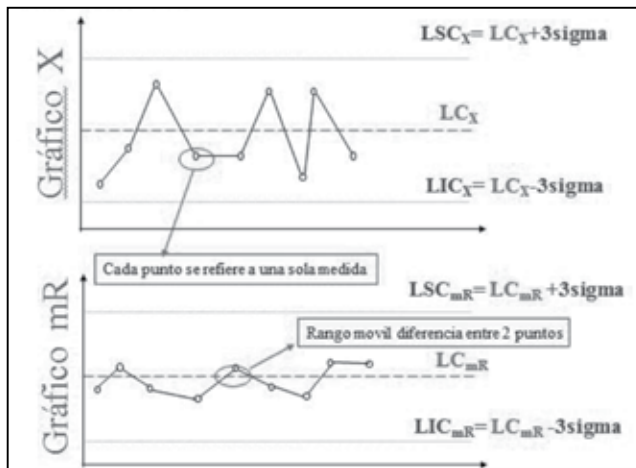
SPC es una técnica estadística basada en condiciones para determinar si un proceso es estable o no [12], pero no está aún adecuadamente implantada en contextos de proceso software, donde la experiencia en el uso de SPC no ha madurado todavía. Al momento de aplicar correctamente SPC en los procesos software es fundamental conocer la naturaleza de dichos procesos en comparación a los procesos de fabricación en los que se ha aplicado SPC, ya que el software es producido por personas no por máquinas [5], [2]. Frecuentemente SPC es utilizado, tal cual es, sin personalizaciones o extensiones al proceso apropiado, dadas las particularidades de los procesos de software en comparación con los de fabricación industrial [6].

Gráficos de Control. SPC se basa en el uso de gráficos de control (ver Figura 1), una técnica establecida para la identificación de problemas potenciales en la producción normal de fabricación [2]. Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control [13], el proceso ha de tener una estabilidad suficiente, que permita un cierto grado de predicción. Esto es equivalente a decir que el proceso permanezca estable y por lo tanto pueda realizarse una predicción del intervalo en el que se encontrarán los valores de la característica de respuesta.

La función de un gráfico de control es ayudar a estudiar si un indicador de calidad está bajo control, y esto se consigue examinando los datos graficados en relación con los límites de control. El SPC, utiliza los datos del pasado del proceso para establecer los límites reales de control. Los límites fijos se convierten

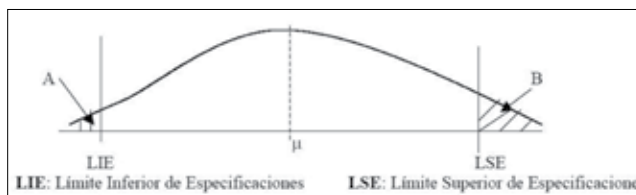
en los límites de operación para señalar variaciones en el comportamiento del proceso e identificar si es debida a causas comunes o causas especiales, debido a la detección de una anomalía en el proceso [12]. Dentro de este contexto los resultados de la revisión de la literatura establecen el gráfico XmR como el de mayor aplicación.

Figura 1. SPC se basa en el uso de gráficos de control. Fuente: Caivano, 2000.



Variabilidad. SPC es capaz de determinar si un proceso es estable o no por su variación o variabilidad, al discriminar entre los cambios en el proceso debido a causas comunes y especiales. La variación por causa común es aquella inherente o normal del proceso, según [14] éstas corresponden a la suma de muchas causas. No obstante, muchas de estas causas son evitables y en ello se encuentra el corazón de la calidad. Al existir una variabilidad importante (ver Figura 2) el indicador de calidad cae parcialmente fuera de las especificaciones, generándose una proporción, muy importante, de unidades rechazadas.

Figura 2. Áreas A y B: Proporción de unidades (producto o servicio) rechazadas por estar fuera de especificaciones.



Por el contrario, la variación no controlada o debida a causas asignables obedece a procesos circunstanciales y fallas esporádicas, según [15], que no forman parte del proceso y contribuyen a que sea inestable e impredecible.

Proceso bajo control estadístico. Un proceso que experimenta únicamente causas comunes de variación se dice que está en control estadístico [8]. Un proceso que experimenta causas de variación especial se dice que puede estar fuera del control estadístico.

Capacidad del proceso. Una vez que el indicador de calidad se encuentra bajo control, es importante determinar si el producto satisface las especificaciones determinadas por los clientes, por contratos y otros mecanismos. Una unidad de producción, bien o servicio, que tenga su indicador de calidad fuera de las especificaciones, es rechazada como defectuosa (provocándose costos innecesarios y altos). Naturalmente interesa que la proporción de unidades rechazadas sea mínima o eventualmente cero. Para ello, la variabilidad del proceso debe ser disminuida de modo que su "distribución" esté comprendida dentro de los límites de especificación determinados por la calidad de la información. Usualmente, un indicador de calidad tiene especificaciones de tolerancia superior e inferior que representan la capacidad del proceso y le permite saber si éste puede cumplir con las especificaciones del cliente, [16], [17].

Six Sigma. Es una filosofía de la calidad que permite reducir la variación de los procesos. Se puede hablar de la capacidad de un proceso o *nivel de calidad* en base al número de sigmas que caben a cada lado de la media, dentro de las especificaciones en una distribución cercana a la normal.

Usando métodos para el mejoramiento y herramientas estadísticas desde las etapas tempranas del proceso, enfocado sobre el diseño de productos y servicios, se asegura que el diseño cumpla totalmente con los requisitos del cliente y resulte un producto que puede ser fabricado en los niveles de Six Sigma [17]. El modelo de proceso que describe Six Sigma, a través de DMAIC (Define, Measure, Analize, Improve, and Control) es la iniciativa para el mejoramiento.

Monitoreo del Software. El Monitoreo consiste en la medición del comportamiento en el tiempo de un proceso cuantificable, utilizando indicadores de proceso, es decir, tiempo de ejecución, productividad, densidad de defectos, esfuerzo dedicado, etc.; señalando anomalías tales como reducción en la productividad, una densidad de defectos excepcional o un tiempo de ejecución desatendido (demasiado alto o demasiado lento) [5].

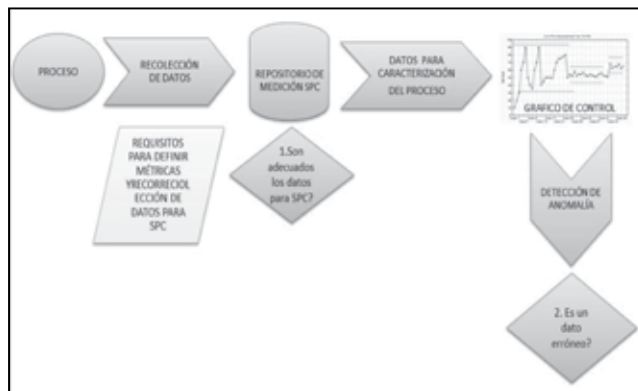
3. Idoneidad de datos y métricas en SPC: caracterización del proceso.

Entre los aspectos críticos que evidencian dificultades para la aplicación de SPC se encuentran: (i) la falta de idoneidad de la métricas usadas y los datos recolectados que impiden caracterizar el proceso y la aplicación de las técnicas SPC, y (ii) los datos erróneos en la detección de anomalías que impiden el análisis estadístico en el gráfico de control y su buen desempeño. La solución de estas dificultades se debe llevar a cabo durante los esfuerzos iniciales (en la etapa de medición) antes de empezar a utilizar técnicas de SPC. Durante esta etapa se debe planear actividades, establecer guías y definir requisitos relacionados con la idoneidad y calidad de las métricas y sus datos, las cuales se deben ir cumpliendo a lo largo de las etapas de implantación de SPC para la gestión cuantitativa de los procesos software y mejora de procesos.

3.1. Elementos de cuidado para el desempeño de SPC

Los elementos de un trabajo cuidadoso en esta fase incluyen (ver Figura 3): la organización de la base de datos, de métricas para determinar las líneas base iniciales del comportamiento del proceso y la normalización de los datos obtenidos de la medición, ya que de éstos depende que se puedan aplicar las técnicas de SPC y el éxito de su desempeño.

Figura 3. Actividades para la aplicación de SPC. Fuente propia

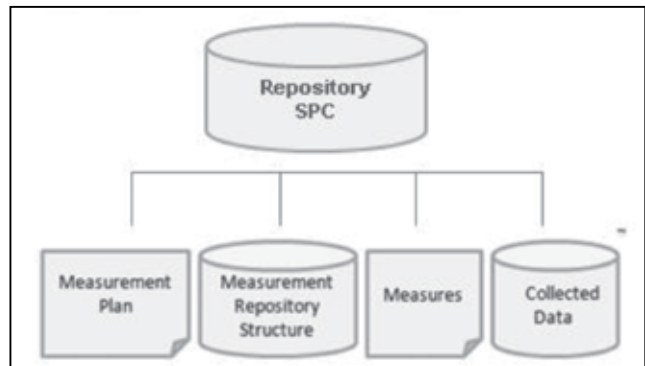


3.1.1. Repositorio de Medición para SPC

La conservación de los datos en sí implica la creación y el uso de una o más bases de datos para organizar y guardar los datos para su uso posterior, resultado del programa de medición. La estructura del repositorio de medición esta dada por los siguientes elementos

(Figura 4): i) el plan de medición, ii) la estructura del repositorio de medición, iii) la definición de medidas, y iv) los datos recogidos por estas medidas. Para el repositorio de medición SPC es importante considerar que si la colección de datos pueden ser trazados correctamente, en un gráfico de control, entonces las medidas se consideran apropiadas para SPC y proveen información útil acerca del comportamiento del proceso e información relacionada a los objetivos de la organización. De lo contrario, el repositorio de medición tendría que ser reestructurado [2].

Figura 4. Estructura del Repositorio de Medición SPC [2].



3.1.2 Calidad de los datos

Tipo de datos. Los datos generalmente pueden ser de dos tipos:

- Datos continuos o variables: son aquellos que resultan de un proceso de medición, es decir, aquellos que pueden ser medidos.
- Datos discretos o atributos: son aquellos que no implican un proceso de medición sino de conteo; se relacionan con la presencia o ausencia de cualidades, permitiendo la emisión de juicios tales como: aceptado, rechazado, según los artículos satisfagan o no las especificaciones.

Definición de la calidad de los datos. Los datos son de alta calidad si “son los adecuados para los usos previstos en las operaciones, la toma de decisiones y la planificación” [18]. Esta definición implica que la calidad de los datos es tanto una percepción subjetiva de los individuos involucrados con los datos y la calidad que se asocia con las mediciones objetivas sobre el conjunto de datos en cuestión, [8]. Varios estudios han confirmado que la calidad de los datos es un concepto multi-dimensional [9], [19].

Obtener datos de calidad requiere inspecciones periódicas en relación con la coherencia y la exactitud de los datos recogidos. De esta forma, es posible detectar lagunas y omisiones de los datos del proyecto con escasa o incluso falta de calidad [20].

Dato erróneo vs anomalía. Un dato anómalo no es lo mismo que un dato defectuoso. Un dato anómalo es una anomalía del proceso por la variación debido a causas especiales en un contexto específico [5]. Un dato defectuoso es definido como un valor del dato que no está conforme a sus requisitos de calidad, según [8] un falso negativo. La norma internacional, modelo de calidad de datos identifica 15 características cualitativas de los datos: integridad, consistencia, credibilidad, usabilidad, accesibilidad, el cumplimiento, la confidencialidad, la eficacia, precisión, trazabilidad, comprensibilidad, disponibilidad, portabilidad y facilidad de recuperación [ISO 2008], dado el uso de los datos para la aplicación del SPC, las experiencias de organizaciones enfatizan algunas características asociadas a los datos:

- La exactitud es definida como “el grado en que los datos son atributos que representan el verdadero valor del atributo deseado de un concepto o evento en un contexto específico de uso” [ISO 2008], [8], [ISO 25012].
- En [17], una organización Six Sigma pone un alto grado de énfasis sobre tomar la exactitud en las mediciones, aunque al considerar los riesgos asociados con cualquier sistema de medición, las mediciones para SPC deben ser repetibles y reproducibles.

3.1.3 Criterios para los datos.

Antes de comenzar el análisis de los datos de medición, hay ciertos criterios que se deben cumplir para que el análisis tenga credibilidad:

Criterio 1: Verificación

Verificar los datos que han sido examinados para asegurar que se han recolectado de acuerdo con las especificaciones y no contienen errores [6]. Normalmente, se certifica que los valores reportados son:

- Del tipo correcto (numérico, alfanumérico). A menudo, algunos elementos pueden ser sólo numéricos, otros

pueden limitarse a la utilización de ciertos caracteres o símbolos, lo importante es verificar que son compatibles con las especificaciones.

- En el formato correcto. La mayoría de los datos a tratar deben estar especificados en los formatos definidos para el proceso de medición. Fechas, valores, monetarios, nombres de productos, nombres de proceso, identificadores de subproceso producto, tiempos, herramientas y prioridades son ejemplos de los datos que pueden estar especificados en los formatos.

- Dentro de rangos especificados. Muchos tipos de datos recogidos pueden ser objeto de un examen de validación de rangos. Deben ser corregidos antes de que se establezca una base de datos no válida. Completa. Los datos de medición deben contener los elementos esenciales, las definiciones asociadas y la información contextual que se necesita para comprender e interpretar los valores de los datos.

- Aritméticamente correcto. Si los datos contienen valores que se derivan de operaciones aritméticas, se debe verificar que las operaciones aritméticas se han realizado correctamente.

Criterio 2: Sincronización

La noción de sincronización de mediciones es particularmente importante cuando se miden los atributos de un proceso o cuando, utilizando los atributos de los productos y los recursos, se describe el desempeño de un proceso.

Criterio 3: Consistencia

Las inconsistencias en la forma de obtener mediciones pueden dar lugar a fallas en el análisis. Los ejemplos incluyen:

- Las estructuras de desglose de trabajo, las definiciones de medición y el cambio en definiciones del proceso de proyecto a proyecto.
- Cambios en el personal que pueden afectar la dedicación a las tareas ya asignadas.

Criterio 4: Validez

En el nivel más básico, se debe ser capaz de demostrar que los valores utilizados para describir un atributo realmente describe el atributo de interés. Para que esto sea cierto las mediciones deben estar bien definidas.

3.1.4. Métricas software

Una métrica es un valor calculado derivado de múltiples mediciones. Según [17], es esencial que las mediciones sean confiables. Las métricas deben tener una valoración de la fiabilidad para determinar si es válida, esto es una valoración de los datos en sus atributos (reproducibles y repetibles) y de la persona quien recogió los datos.

Características de usabilidad de las métricas para SPC. Para evaluar las métricas [21] define un cuestionario de evaluación de métricas basado en un número de atributos de usabilidad de la métrica para SPC, (Tabla 1). Un estudio más exhaustivo y más detallado sobre métrica software es detallado en [22], [6], [17], [21], [23], que describen procedimientos exitosos en planes de medición y determinan una guía en términos de la variable de interés.

Tabla 1. Atributos de usabilidad para las métricas SPC. Fuente [21].

Atributo	Explicación
Identificación de métricas	La métrica debe ser identificada con la entidad y el atributo a medir, tipo de escala, unidad, fórmula y el tipo de datos y rango. La teoría de la Medición dice que no se puede usar la escala métrica nominal y ordinal para gráficos de control.
Existencia de datos	En cualquiera de los análisis debería haber datos de medición. Para realizar el cálculo fiable de los límites de control debe haber al menos 20 puntos de datos.
Verificabilidad de datos	Los datos deben registrarse en el mismo lugar en el proceso, por el mismo órgano responsable y utilizando el mismo método cada vez.

Confiabilidad de datos	Los datos métricos deben ser registrados y almacenados para asegurar la exactitud y precisión; y ser recogidos para un propósito específico. Los mecanismos de retroalimentación deben existir y ser conocidos por los coleccionistas sobre análisis de datos y presentación de informes.
Normalización de datos	Los datos métricos pueden ser normalizados con un parámetro o con otra métrica. Las métricas normalizadas proveen una comprensión en términos de análisis estadístico. Normalizar toneladas de métricas A con un parámetro de P proporciona valores comparables de toneladas métricas A en términos del parámetro P (por ejemplo, normalizar número de defectos en un producto con tamaño del producto).
Integridad de datos	Los datos métricos pueden ser integrados a nivel de proyecto o los niveles de organización. En la práctica, datos de la métrica deben integrarse, del nivel individual al nivel de organización de los resultados de los análisis estadísticos, para ser eficaz toda la organización

3.2 Actividades básicas para la caracterización del proceso

Los elementos de trabajo básico previos a la aplicación SPC incluyen:

- 1. Identificar los objetivos cuantitativos.** Definir los objetivos con metas cuantitativas.
- 2. Preparación y selección del proceso piloto.** Identificar las cuestiones cruciales del proceso, identificar los factores críticos que determinan si los procesos cumplen las metas que se han establecido. Identificar los procesos críticos, los procesos que han experimentado problemas en el pasado, se ejecutan a través de los límites organizativos o la utilización de una tecnología, sirven como principales candidatos a procesos críticos.

3. Identificación de los atributos de rendimiento del proceso.

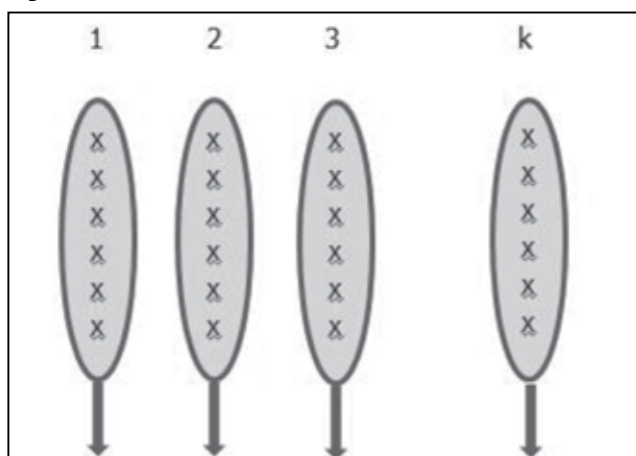
Los atributos asociados con la calidad del producto, duración del proceso, la entrega del producto, proceso y costos son importantes para la mayoría de las organizaciones y comunes a todos los procesos de software.

4. Seleccionar y definir métricas. Seleccionar métricas para caracterizar un proceso o un producto que proporcionará la información pertinente a los componentes que se han identificado en el paso 3. Crear definiciones operativas para garantizar que las diferentes personas apliquen las medidas correctamente y constantemente, y también para asegurar que los datos se interpreten correctamente.

Las métricas relevantes del proceso son las que permiten una adecuada aplicación de los gráficos de control para monitorear y analizar las actuaciones reales del proceso, [4]. Estos datos de análisis permiten hacer previsiones sobre el proceso que está siendo controlado, la elección de métricas para ser estadísticamente controlado deben ser acordes con los equipos de desarrollo y tener sentido para el éxito del proyecto [2]

5. Recopilar datos. Una vez que se haya seleccionado y definido las medidas y su aplicación, se puede comenzar la recolección de datos, Figura 5. La complejidad de los procesos de recopilación de datos aumentará a medida que nuevos proyectos u organizaciones se añaden para investigar los procesos implicados.

Figura 5. Recolección de datos. Fuente: [14]



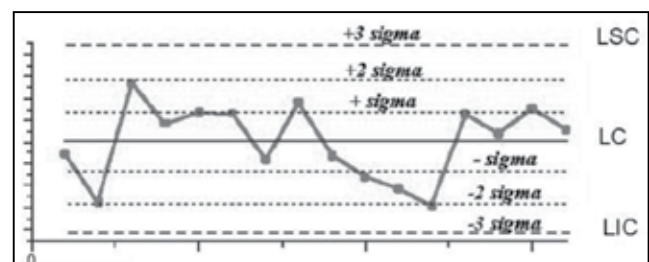
6. Organizar los datos. Los datos deben ser normalizados y garantizar que la obtención de los datos son resultados representativos del proceso, con el fin de definir líneas base de comparación.

7. Elegir el gráfico de control. Entre los procesos del ciclo de desarrollo que más hacen uso de las técnicas SPC es priorizado el proceso de desarrollo y revisión de código, seguido se encuentran los procesos de pruebas, diseño y planeación, así como actividades no definidas de la gestión. Mientras procesos como el mantenimiento e inspección y detección de defectos figuran en tercer lugar de uso.

8. Caracterizar el proceso estableciendo las líneas base.

Los Gráficos de Control están basados en las propiedades de la curva normal en la cual 99.73% de las observaciones están comprendidos alrededor de la media, de acuerdo a [16], caen en el intervalo $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$, intervalo de 3 desviaciones estándar σ en torno a la media μ . En este contexto los gráficos de control se construyen con límites estadísticamente determinados, los límites de control se calcula como el valor del parámetro de interés (ver Figura 6).

Figura 6. Los gráficos de control tienen una línea central (LC) y límites de control (LSC y LIC). Fuente: [12].



Estos límites se denominan: límite de control superior (LCS), y límite de control inferior (LCI); y se ubican equidistantes a ambos lados de la línea que indica el promedio de un proceso (línea central - LC). En consecuencia, los límites de control, superior e inferior, resultan:

$$\text{LSC: } \mu + 3\sigma; \quad \text{LC: } \mu; \quad \text{LIC: } \mu - 3\sigma$$

Los límites superior e inferior de control corresponden a los límites hasta donde llega la variación común o natural y, como consecuencia, a partir de cuándo se puede hablar de la actuación de causas especiales de importancia; por ello constituyen los límites de la variación común presente en el indicador. Un punto fuera de los límites de control posee variación especial de importancia. No se debe encontrar ningún patrón de comportamiento específico de los datos, ya sea en la forma de tendencias u otros.

Tabla 2. Aplicación de gráficos SPC en procesos software.

Fuente propia.

Tipo de gráfico/área SP	Pruebas	Inspección y detección de defectos	Mejoramiento	Monitoreo	Diseño y planeación	Mantenimiento	Análisis y estimación de recursos	Desarrollo y revisión de código	Actividades no definidas: gestión
XmR									
Xbar R chart									
Median & R chart									
X-bar S chart									
C chart									
U chart									
np chart									
p chart									
z chart									

Los puntos en la Figura 10 son resultados de las mediciones que, unidos por una línea, muestran el comportamiento estadístico del proceso. Si el indicador de calidad en estudio sigue una distribución normal, prácticamente el 100% de las observaciones está entre la media menos tres desviaciones estándar ($\mu - 3\sigma$) y la media más tres desviaciones estándar ($\mu + 3\sigma$). Si nada especial pasa en el proceso (lo que implicaría cambio en la media y/o en la varianza) las observaciones deben estar en dicho intervalo. Por ello, si una observación está fuera de dichos límites, alguna (o varias) causa especial de variación importante está actuando y el punto correspondiente está fuera de control.

En la práctica, desconocemos los parámetros μ y σ , debiendo ser estimados a partir de la muestra. Se determinan límites de control en base a muestras tomadas cada cierto tiempo. Se calcula el promedio de las observaciones, que tiende a seguir una distribución normal con media μ y un error estándar σ/\sqrt{n} , debido a la aplicación del teorema del límite central.

Como el cálculo de Sigma difiere entre los distintos tipos de gráficos de control, las fórmulas de los límites de control (y los límites de alerta) también difieren. Para el ejemplo anterior los límites de control son:

LSC: $\mu + 3 \sigma/\sqrt{n}$; LC : μ ; LIC: $\mu - 3 \sigma/\sqrt{n}$;

9. Aplicar técnicas estadísticas para encontrar y eliminar causas especiales de variación del comportamiento del proceso. Si el proceso no es estable entonces no se puede determinar la capacidad del proceso. Tampoco hay base para predecir los resultados [6]. El resultado debe ser entender por qué el proceso no es estable y determinar qué medidas pueden adoptarse para lograr la estabilidad. Si el proceso es estable entonces la capacidad del proceso puede ser determinado y se utiliza para predecir. Basándose en los datos, el punto excepcional es analizado para encontrar y eliminar la causa excepcional. Para identificar y analizar las causas de los defectos y otros problemas que se pueden mejorar son útiles métodos estadísticos como el diagrama de Pareto, diagrama de causa - efecto, y el gráfico Scatter de dispersión.

10. Reajustar las líneas bases del proceso. Si los valores de rendimiento quedan fuera de los límites de control 3σ o indican una tendencia, el proceso tiene una variación [12], por lo que el enfoque de reajustar las bases líneas del rendimiento del proceso está en analizar las variaciones que se encuentran en el gráfico de control [24]. Terminada la etapa de caracterización, el proceso se encuentra a punto para entrar en el ciclo de mejora continua, para reducir la variabilidad debida a las causas comunes. En [25], proponen un ciclo de

monitoreo software donde determinan una directriz con cuatro patrones generales: i) Caracterización del proceso, ii) Detección de anomalías en el proceso (tests set), iii) Empezar las acciones apropiadas (tests interpretation) y las actividades pertinentes para el ajuste de la sensibilidad a los cambios del comportamiento del proceso detectados en el monitoreo (Tuning Actions).

11. Extender el procedimiento a otros procesos.

Conseguido el control estadístico del proceso piloto, se debe conseguir la extensión para la aplicación de SPC a otros procesos del desarrollo de software. Para [13], evaluar los resultados conseguidos comunicándolos a la dirección, a los que han participado en el programa piloto y aquellos que están involucrados con los próximos procesos sobre los que se va a implantar SPC para conseguir su apoyo de antemano.

4. Conclusiones y trabajos futuros

En el artículo se han presentado aspectos y requisitos que son considerados relevantes para la aplicación de las técnicas SPC en la medición de los procesos software, orientando el manejo de los datos y métricas para que puedan considerarse válidos para representar lo que se pretende, usando las técnicas del SPC y cumplir sus objetivos en determinar si los procesos software se están comportando de manera sistemática o tienen tendencias estables; identificando procesos en los que el rendimiento está dentro límites naturales y son consistentes a medida que se conforman equipos de trabajo; visualizando los procesos que se muestran inusuales, es decir, con comportamiento esporádico o impredecible e identificando y analizando las causas de los defectos y otros problemas que se pueden mejorar.

Los resultados obtenidos ofrecen una guía de requisitos a seguir para caracterizar el proceso, definiendo elementos de trabajo básicos, previos a la aplicación SPC basándose en conceptos y técnicas que se deben tener presentes en la planeación del proyecto SPC. Las técnicas pueden adaptarse a las etapas del ciclo desarrollo software (diseño, desarrollo, pruebas y mantenimiento) para proyectos de software. Las métricas relevantes del proceso son las que permiten una adecuada aplicación de los gráficos de control para monitorear y analizar las actuaciones reales del proceso. Estos análisis permiten hacer previsiones sobre el proceso que está siendo controlado.

Para trabajo futuro se espera formalizar las etapas de una metodología para la implantación del SPC, estableciendo los métodos más adecuados que permiten aplicarlo como una estrategia efectiva para la mejora de la gestión cuantitativa de los procesos software junto a Six Sigma, el mayor programa de gestión enfocado a la mejora continua, como una primera guía para articular otras responsabilidades dentro de un modelo de gestión para el DGS.

5. Referencias

- [1] K. Sargut and O. Deminörs, *Utilization of stactical process control (SPC) in emergent software organizations: pitfalls and suggestions*, Springer Science + Business Media, 2006.
- [2] D. Manlove, S. H. Kan and I. Rochester, *Practical Stactical Process Control for Software Metrics*, 2007.
- [3] A. M. Molina C., J. A. Alzate N. and R. D. Rincon B., "Gestión Cuantitativa del proceso de desarrollo de software," Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 2009.
- [4] M. B. Perini, A. R. Rocha and R. d. A. Falbo, "Evaluating the Suitability of a Measurement Repository for Stactical Process Control," Italy, 2010.
- [5] T. Baldassarre, N. Boffoli, D. Caivano and G. Visaggio, "Manging Software Process Improvement (SPI) through Stactical Process Control (SPC)," 2008.
- [6] U. EAFIT, «Control Estadístico de Procesos,» 2011.
- [7] I. Caballero , "Introducción a la calidad de los datos y de la información," Grupo Alarcos, Universidad Castilla la Mancha, 2008.
- [8] M. Kasunic, J. McCurley, D. Goldenson y D. Zubrow, «An Investigation of Techniques for Detecting Data Anomalies in Earned Value Management Data,» Technical Report, Software Engineering Measuremnt adn Analysis (SEMA), 2011.
- [9] C. Batini y M. Sacannapieco, *Data Quality*, p. 83.
- [10] W. A. Florac and A. D. Carleton, "Measuring the Software Process: Stactical Process Control for software process improvement," 1999.

- [11] ISO/TR 10017, «Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000,» 1999.
- [12] D. Caivano, "Statistical Process Control," Bari, Italy, 2000.
- [13] A. Ruiz and F. Rojas, "Control Estadístico de Procesos," Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, Madrid, 2006.
- [14] O. P. D. Ferreiro, "Control Estadístico de Procesos y Estrategias Seis Sigma," Departamento de Economía y Administración, 1997.
- [15] O. Ferreiro, "La Calidad, Clave de la Competitividad en la Empresa Moderna," 1997.
- [16] R. I. Cariño Garay, "Seis Sigma y la capacidad del proceso en proyectos," Tendencias tecnológicas, no. Boletín IIE, 2002.
- [17] C. B. Tayntor, Six Sigma Software Development, vol. 2, Auerbach Publications, 2007, pp. 3-13.
- [18] J. M. Juran, «Quality Control Handbook,» 1951.
- [19] L. L. Pipino, Y. W. Lee y R. Y. Wang, «Data Quality Assessment,» Communications of the ACM, vol. 45, 2002.
- [20] D. Caivano, Six Sigma for Software, 2011.
- [21] A. Tarhan y O. Demirors, «Investigating Suitability of Software Process and Metric for Statistical Process Control,» Turkey, 2006.
- [22] M. G. Piattini V., F. Ó. García Rubio, J. Garzías Parra and M. F. Genero Bocco, Medición y estimación del software, Madrid, 2008.
- [23] L. F. Salin Monteiro y K. Marcal de Oliveira, Defining a catalog of indicators to support process performance analysis, Catholic University of Brasilia, 2002.
- [24] Q. Wang, N. Jiang, L. Gou, X. Liu, M. Li y Y. W. BSR: A Statistic-based Approach for Establishing, IRISA, 2006.
- [25] T. Baldassarre, N. Boffoli, D. Caivano and G. Visaggio, "Managing Software Process Improvement (SPI) through Statistical Process Control (SPC)," 2008.
- [26] BLACK&DECKER, "Curso de Entrenamiento Lean Seis Sigma Green Belt," 2006.
- [27] M. L. Lefcovich, Six Sigma, un nuevo paradigma en gestión, Argentina, 2004.
- [28] O. P. D. Ferreiro, «Control Estadístico de Procesos y Estrategias Seis Sigma,» Departamento de Economía y Administración.
- [29] P. Ardimento, M. Baldassarre, D. Caivano and G. Visaggio, ANon Intrusive SPC-Based Monitoring of a Disitributed Maintenance Process.