
**FACULTAD
CIENCIAS EMPRESARIALES
Y ADMINISTRACIÓN**

DPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA MAESTRÍA
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
SEXTA EDICIÓN

Metodología para el control estadístico de la calidad de procesos. Aplicación en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de julio”

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO ACADÉMICO DE
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
MENCIÓN CALIDAD

Autor: Ing. Freddy Cobas Aguilera

Tutora: Prof. Tít., Ing. Maira Rosario Moreno Pino, Dr.C

Universidad de Holguín (UHo)

Consultante: Prof. Auxiliar, MSc. Ing. Madelin Hidalgo Díaz

Universidad de Holguín (UHo)

Holguín, 2021



No se puede dirigir si no se sabe analizar, y no se puede analizar si no hay datos verídicos, y no hay datos verídicos si no hay todo un sistema de recolección de datos confiables, y no hay un sistema de recolección de datos confiables si no hay una preparación de un sistema estadístico con hombres habituados a recoger el dato y transformarlo en números...

Che

Agradecimientos.

A la Revolución cubana, por darme la oportunidad de convertirme en el profesional que soy

A mis padres, por impulsarme en mi superación personal

A mi tutora, Maira, por colocarme el camino y guiarme tan sabiamente

A Made, mi profe de estadística de siempre

A Idelmis, por darme la pauta a seguir

A los profesores de la Maestría

A los técnicos y directivos de la Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio", por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo

A Elia Guevara, por su asesoría en temas metroológicos

A todos aquellos que de una forma u otra han colaborado para que pudiera llegar hasta aquí.

¡A todos, Muchas Gracias!

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar una metodología para el control estadístico de la calidad de procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio", que propicie mejorar la efectividad del sistema de control de la calidad en los procesos de realización. Tomando como base las debilidades observadas en el control de la calidad en esta UEB, se evidenció una limitada utilización de métodos estadísticos en el análisis de las fuentes de variabilidad del proceso productivo y los análisis del estado de estos. Para el logro del objetivo propuesto se utilizaron varios métodos y herramientas de la investigación científica, entre los que se encuentran: inductivo–deductivo, sistémico estructural, análisis–síntesis, observación, entrevista, diagrama de Pareto, consulta y análisis de documentos, tormentas de ideas y el uso de software para los análisis estadísticos y de variables. El principal aporte de esta investigación lo constituye el desarrollo de una metodología para el control estadístico de la calidad de procesos donde se profundiza en el uso de las variables aspectos metrológicos, análisis económicos, los gráficos multivariados y los análisis de estabilidad, aplicándose parcialmente en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de julio", en la evaluación de los procesos de forja y tratamiento térmico.



Abstract

Present investigation purposes to develop a methodology for the statistical process control at the UEB Factory of Equipment and Farm Implements “26 de Julio”, that conciliate to improve the effectiveness of the quality control system in the processes of realization. Taking as a base the weaknesses observed in the quality control in this UEB, a limited utilization of statistical methods in the analysis of the sources of variability of the productive process. To reach the objective were used several methods and the scientific investigation's tools, among the ones we meet: Inductive deductive, systemic structural, analysis – synthesis, observation, interview, diagram of Pareto, consultation and documentary analysis, storms of ideas and the use of software for the statistical analysis and of variables. The principal contribution of this investigation is the presentation of a methodology for the development of the statistical process control deeping on economical analysis, stability analysis, multivariate charts and metrological aspects; partially applied at UEB Factory of Equipment and Farm Implements “26 de Julio” in the evaluation of forging and heat treatment processes.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO PRÁCTICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN EN RELACIÓN AL CONTROL DE LA CALIDAD Y EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS	6
1.1. Control de la calidad.....	7
1.2. Control Estadístico de la Calidad de Procesos	10
1.3. Análisis y valoraciones sobre metodologías para el control estadístico de la calidad de procesos	17
1.4. Valoración de la situación del control estadístico de la calidad en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”	18
1.5. Conclusiones del capítulo.....	20
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS.....	21
2.1. Metodología para el control estadístico de la calidad de procesos.....	21
Etapa 1. Preparatoria	21
Etapa 2. Planificación.....	23
Etapa 3. Implementación.....	29
Etapa 4: Mejora.....	38
2.2 Conclusiones del capítulo.....	40
CAPÍTULO III. APLICACIÓN PARCIAL DE LA METODOLOGÍA PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS EN LA UEB FÁBRICA DE EQUIPOS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS “26 DE JULIO”	42
3.1 Resultados de la aplicación parcial de la metodología propuesta en la UEB Fábrica de Equipos e implementos Agrícolas “26 de julio”	42
3.2 Conclusiones del capítulo.....	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS.....	57



INTRODUCCIÓN

El desempeño de la economía cubana enfrenta múltiples restricciones (comerciales, financieras, tecnológicas, etc.) debido a deformaciones estructurales de la economía interna, la agresiva política del gobierno de los Estados Unidos hacia Cuba, un complejo panorama mundial agravado por guerras de todo tipo (convencionales, comerciales, tecnológicas, cibernéticas, etc.) y una pandemia. Esto coloca al sistema empresarial cubano en franca desventaja para acceder a mercados donde prima una elevada calidad en los productos y servicios que se ofertan, respaldados por precios muy competitivos.

Atendiendo a esta compleja situación, la dirección del país ha venido adoptando un conjunto de medidas con vistas a la reactivación de la economía, encabezado por los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución aprobados en el VI Congreso del PCC desarrollado en abril del 2011 y actualizados en el VII Congreso del PCC en junio del 2017, donde la empresa estatal socialista y los sistemas de normalización, metrología y gestión de la calidad juegan un papel fundamental. En particular en el lineamiento 109 se establece: “culminar el perfeccionamiento del sistema de normalización, metrología, calidad y acreditación, en correspondencia con los objetivos priorizados del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social, alcanzando a todos los actores económicos del país”, y 175: “aplicar los sistemas de gestión de la calidad en correspondencia con las normas establecidas y las exigencias de los clientes. (Documentos del 7mo. Congreso del Partido aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017 y respaldados por la Asamblea Nacional del Poder Popular el 1 de junio de 2017 (I),” 2017).

Las cuestiones relacionadas con la gestión de la calidad se han visto reforzadas con la aprobación del Decreto Ley 8. De normalización, metrología, calidad y acreditación y su norma complementaria, el Decreto 16 Reglamento de normalización, metrología, calidad y acreditación. Todos estos elementos forman parte de la actualización del Modelo de Gestión Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista que, junto a otras políticas económicas y sociales, planes y programas de desarrollo, favorecerán el avance social y económico del país. De acuerdo a las líneas estratégicas del desarrollo económico-social del país, la gestión de la calidad comienza a perfilarse como un elemento estratégico dentro del sector empresarial. Por lo tanto lograr certificar sistemas de gestión de la calidad basados en las normas internacionales NC ISO 9000: 2015 se hace prácticamente imprescindible para las empresas que pretendan alcanzar un relativo éxito en su gestión productivo-comercial.

La norma ("NC ISO 9001: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — requisitos,") constituye la base para el establecimiento de un sistema de gestión de la calidad con enfoque normalizado, cuyo objetivo principal es favorecer la satisfacción del cliente, al certificar que la organización es capaz de brindar productos y/o servicios que satisfacen los requisitos, tanto los establecidos por el cliente como por otras partes interesadas. Dentro de los principios que sustentan esta norma se destacan el enfoque de procesos; la mejora basada en el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA); el pensamiento basado en riesgos y la toma de decisiones basada en evidencias. Al aplicar esta norma se afianza la necesidad de utilizar sistemas de control de calidad que sean capaces de captar, agrupar y procesar los datos necesarios para mantener bajo control los procesos, permitiendo posteriormente el desarrollo de la mejora basada en hechos.

Uno de los sistemas de control de calidad que ha demostrado su efectividad desde sus inicios en 1924 hasta la actualidad es el control estadístico de proceso, enriqueciéndose con nuevos aportes e investigaciones, tanto internacionalmente como a nivel nacional, demostrando la validez de su aplicación al control de diversos procesos. Entre estas investigaciones, pueden señalarse las realizadas por (Alfaro Navarro, 2005), (Busutil Sosa, 2006), (Capote Suárez, 2009), (Fermín, Valdiviezo, Orlandoni, & Barreto, 2009), (Hernández Vázquez, 2009), (Ramírez Méndez, 2011), (Ramos Lage, 2012), (Santos Fernández, 2013), (Almeida Consuegra, 2013), (Dionisio Reyes, 2014), (Echemendia Gómez, 2016), (Hernández Pedrera & Da Silva Portofilipell, 2016), (Santana Tamayo, 2017), (Romero Vega, Valdés Luna, Pastor de Moya, & Herrera Acosta, 2018), (Hidalgo Díaz, 2019), (Ricardo Torres, 2019), (Rodríguez Vignon, 2020). Los trabajos desarrollados por estos autores constituyen el antecedente directo del presente trabajo.

Del análisis de las investigaciones antes mencionadas se aprecia consenso entre los autores en cuanto al uso o aplicación las variables Planificación (Planif), Proyección de Mejoras (Mejora), Muestreo (Muestreo), Gráfico de Control por Variable (GCPV), Análisis de Capacidad o Aptitud (CapApt) y Capacitación (Capacit) como las principales técnicas o herramientas para desarrollar el control estadístico de la calidad de procesos. Siendo débilmente tratados los Aspectos Metrológicos (Mtrolg), Análisis Económico (AnEconom), Gráficos Multivariado (GMV) y Análisis de Estabilidad (Estab); lo que constituyen las brechas investigativas para el desarrollo del presente trabajo.

Dentro del sector empresarial cubano se encuentra la empresa "Héroes del 26 de Julio" subordinada al Grupo Empresarial de la Industria Sideromecánica (GESIME) del Ministerio de Industrias (MINDUS), la cual tiene un peso importante en la sustitución de importaciones con la



producción de máquinas e implementos agrícolas, así como otras producciones entre las que se destacan piezas de repuesto, motores eléctricos y estructuras metálicas. La empresa consta de tres Unidades Empresariales de Base (UEB): Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”; Producciones Mecánicas Banes y Motores Eléctricos TAUBA. La realización de la producción cuenta con sistema de control de calidad sustentado en un sistema de gestión de la calidad basado en la norma NC ISO 9001:2015; donde los parámetros de las producciones se controlan de acuerdo a los requisitos establecidos en los proyectos y documentación tecnológica utilizada en la fabricación; registrándose las no conformidades en los diferentes momentos del tránsito del objeto de trabajo durante su transformación.

La UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas 26 de julio es considerada como el centro vital de la Empresa Mecánica tanto por su envergadura como por los niveles de producción que se realizan. En esta UEB se fabrican máquinas e implementos agrícolas, equipos industriales, estructuras metálicas, piezas de repuestos y elementos fundidos, alcanzando un valor de producción en 2019 de 20591.2 MP.

Dada la importancia de esta UEB se necesita mantener un adecuado nivel en el control de la calidad de sus producciones, por lo que el control estadístico de la calidad de procesos constituye una poderosa herramienta tanto en el control de los procesos como en la prevención de no conformidades y el desarrollo de procesos de mejora; cuestiones estas que se han visto afectadas al persistir diversos factores, tales como.

- Insuficiente nivel de preparación de directivos para comprender y exigir la aplicación del control estadístico de la calidad de procesos,
- Los registros de control de calidad implementados en la empresa no se adecuan para el desarrollo del control estadístico,
- Los análisis de no conformidades omiten los métodos estadísticos que permitan una adecuada estratificación de causas, los niveles de variabilidad y frecuencia de repetición en sus análisis,
- No se determina la capacidad y estabilidad de los procesos, lo que contribuye al desconocimiento de su importancia e influencia en los procesos de mejora,
- Para seleccionar las muestras a controlar solamente tienen en cuenta los preceptos establecidos por la NC ISO 2859-1: 2018,
- La capacitación que se le brinda al personal técnico responsable del control de la calidad no incluye el uso y aplicación de métodos estadísticos.



Estos elementos antes descritos constituyen situación problemática desde las aristas metodológicas y empírica en que se enmarca la presente investigación. Por tanto se define como **problema científico**: ¿Cómo perfeccionar el control estadístico de la calidad de procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio” con vistas a lograr mejorar la efectividad del sistema de control de la calidad?

Como **objeto de la investigación** se definió: El control de la calidad. La investigación tiene como **objetivo general**: Desarrollar una metodología para del control estadístico de la calidad de procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio", que propicie mejorar la efectividad del sistema de control de la calidad en los procesos de realización.

Para cumplir con el objetivo general se definieron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Construir el marco teórico práctico referencial de la investigación en lo relativo al control de la calidad y el control estadístico de la calidad de proceso a partir del análisis crítico de la consulta de la literatura especializada y actualizada.
2. Diseñar una metodología para el control estadístico de la calidad de procesos.
3. Aplicar parcialmente la metodología para el control estadístico de la calidad de procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”.

Dichos objetivos permiten precisar el siguiente **campo de acción**: El control estadístico de la calidad de procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”.

La **idea científica a defender** consiste en: el desarrollo de una metodología para el Control Estadístico de la Calidad de Procesos, donde se potencien los aspectos metroológicos, el análisis económico, los gráficos multivariados y los análisis de estabilidad; permite mejorar la efectividad del sistema de control de calidad en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”.

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán métodos teóricos, empíricos y estadísticos, cuantitativos y cualitativos, así como diferentes técnicas propias de la Ingeniería Industrial.

Métodos teóricos a utilizar:

- **Análisis y síntesis** de la información obtenida a partir de la revisión de literatura y documentación especializada, así como de los criterios de especialistas y trabajadores, elaborándose resúmenes y conclusiones.
- **Sistémico estructural**: para el desarrollo del análisis del objeto de estudio y el campo de acción, así como la elaboración de la metodología a través de su descomposición en los elementos que lo integran, determinándose las variables que más inciden y su interrelación.



- **Inductivo-deductivo:** se empleó para realizar generalizaciones con respecto a las posiciones teóricas y llegar a nuevas conclusiones acerca del objeto de investigación.

Métodos empíricos.

Técnicas de trabajo en grupo, entrevista no estructurada, observación directa, consulta y análisis de documentos, tormentas de ideas.

Métodos estadísticos.

El análisis de centralidad, análisis clúster, análisis no paramétricos, análisis de correlación.

Para el procesamiento de los datos se utilizaron los software SPSS V. 19.0; STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14; UCINET y hojas de cálculo en EXCEL.

La presente investigación está conformada por tres capítulos, el primero aborda el marco teórico-práctico referencial de la investigación, el capítulo dos muestra el diseño de la metodología para del control estadístico de la calidad de procesos y un tercer capítulo donde se realiza una aplicación parcial de la metodología para el control Estadístico de la Calidad de Procesos en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio". Finalmente se exponen las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO PRÁCTICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN EN RELACIÓN AL CONTROL DE LA CALIDAD Y EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS

Este capítulo tiene el objetivo de realizar un análisis teórico práctico sobre el control estadístico de la calidad; partiendo de un análisis de las principales consideraciones sobre el control de la calidad y el control estadístico de procesos. Para ello se efectuó una revisión de la bibliografía nacional e internacional referente al tema, realizando un análisis crítico de las metodologías e investigaciones referidas al control estadístico de la calidad de procesos, así como la situación observada en el objeto de estudio; permitiendo esbozar el marco teórico práctico referencial que se observa en la figura 1.1.

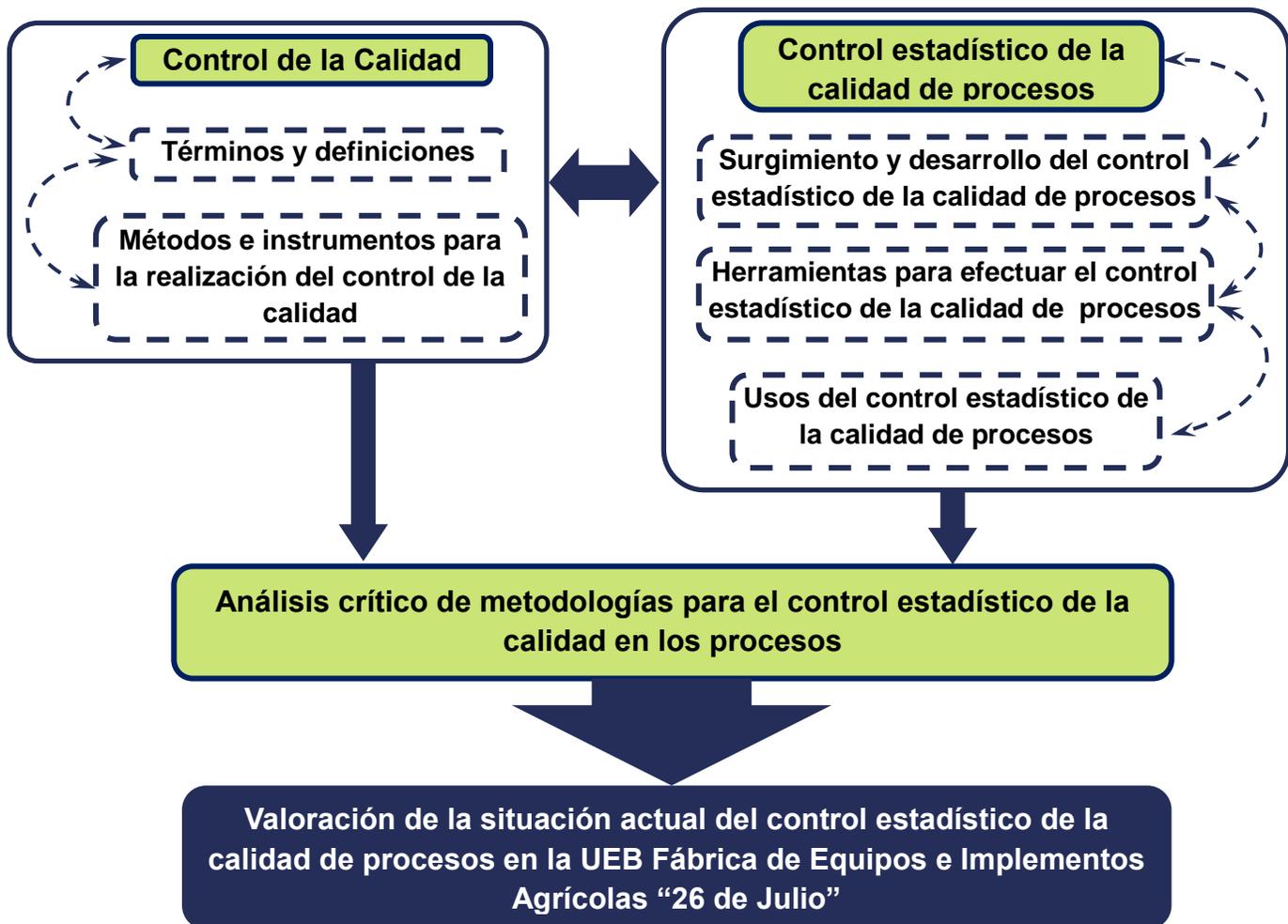


Figura 1.1. Estrategia seguida para el marco teórico-práctico referencial de la investigación.

1.1. Control de la calidad

1.1.1. Términos y definiciones

El proceso de control tiene la naturaleza de un ciclo de retroalimentación, el cual incluye seleccionar el sujeto de control. Esto significa escoger lo que se quiere regular, elegir una unidad de medida, establecer una meta para el sujeto de control creando un sensor que permita realizarle mediciones en términos de la unidad de medida, medir el desempeño real e interpretar la diferencia entre el desempeño real y la meta y por último tomar medidas si es necesario sobre la diferencia. Esta secuencia de pasos es universal, es decir se aplica al control de costos, al control de inventario, al control administrativo, entre otros, incluyendo al control de la calidad.

El control de calidad es el conjunto de técnicas y actividades, de carácter operativo, empleadas para verificar los requisitos relativos a la calidad del producto o servicio. El control de calidad es la parte de la gestión de la calidad orientada a cumplir los requisitos de la calidad, está dirigido a alcanzar los objetivos y prevenir cualquier cambio negativo. El control de la calidad ha marcado la pauta en la evolución de la gestión de la calidad, partiendo de la inspección de los productos terminados hasta las más novedosas tendencias con enfoques a procesos, por lo que las definiciones relacionadas al control de la calidad han adoptado diversos criterios de acuerdo a la etapa de desarrollo del control de la calidad y el autor que ha realizado la definición en sí misma.

Para Juran (1986) el control de calidad son todos los mecanismos, acciones, herramientas que se utilizan para detectar la presencia de errores y asegurar el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida. La función del control de calidad existe primordialmente como una organización de servicio de producción para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones. Como tal, la función consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada (Jurán, 1986). Este autor se refiere al control de calidad como el proceso que se emplea con el fin de cumplir los estándares; esto consiste en observar el desempeño real, compararlo con algún estándar y después tomar medidas si el desempeño es significativamente diferente del estándar (Juran, 1988).

Para controlar la calidad de un producto se realizan inspecciones o pruebas de muestreo para verificar que las características del mismo sean óptimas. El único inconveniente de estas pruebas es el gasto que conlleva el control de cada producto fabricado, ya que se eliminan los defectuosos (Deming, 1989).



Por otra parte (Feigenbaum, 1971) refiere que el control de la calidad se define como un sistema efectivo para la integración de los esfuerzos de desarrollo, mantenimiento y mejoramiento que los diferentes grupos de una organización realizan para poder proporcionar un producto o servicio en los niveles más económicos para la satisfacción de las necesidades del usuario.

Estas definiciones sobre el control de la calidad aportadas por los llamados gurús de la calidad coinciden en que esta actividad se centran fundamentalmente en el establecimiento de acciones para la detección de las desviaciones de los requisitos para un posterior desarrollo de acciones correctivas; intentando hacerla más eficiente desde el punto de vista de la realización de pruebas y los análisis de datos.

Una definición sobre el control de la calidad que ha evolucionado actualizándose a través del tiempo, es la ofrecida por la norma ISO 9000 ("NC ISO 9000: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — fundamentos y vocabulario,") la cual refiere: el control de la calidad es la parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de calidad. Esta definición sin profundizar en las técnicas o detalles sobre su forma de ejecución, resume de forma breve la función del control de la calidad y su vinculación con la gestión de la calidad, al ser parte de un proceso mejora continua enfocado a la satisfacción del cliente. Atendiendo a la actualidad e integralidad de la definición sobre el control de la calidad que ofrece la norma ISO 9000: 2015, esta investigación la asume como el elemento teórico que define la acción del control de la calidad.

1.1.2. Métodos e instrumentos para la realización del control de la calidad

Para la realización de un efectivo control de calidad se debe contar con métodos y medios adecuados con el objetivo de obtener los datos necesarios para realizar los correspondientes análisis e implementar procesos de mejora. Estos métodos y medios se establecen por la dirección, atendiendo al tipo de producción o proceso que se requiere controlar.

Dado que el control de calidad está enfocado la inspección de artículos o procesos, los métodos que se utilizan estarán enfocados hacia la evaluación de la conformidad o aptitud de los mismos. (Ramos Domínguez, 2004) señala como métodos de control.

- **Inspección y supervisión:** se plantea que el control de calidad comenzó en la industria por la inspección del producto o resultado, lo cual era necesario dada la elevada frecuencia en la presencia de defectos y las grandes pérdidas económicas que esta situación ocasionaba. Bajo esta premisa se utilizó y se sigue utilizando la inspección, a pesar de las críticas, ya que se reconoce que este método no permite poner en práctica acción alguna para eliminar errores y



prevenir problemas, lo que implica pérdida de tiempo, gastos innecesarios al no poder prevenirlas.

- **Control selectivo:** analiza los resultados para compararlos con las expectativas, requisitos o indicadores de calidad, y determinar si existen defectos o problemas. En caso de encontrarlos, estudia las variables independientes o causales en el proceso, para que sean eliminadas.
- **Control por excepción:** resulta del estudio del proceso y en caso de encontrar irregularidades o incumplimientos, corregirlos, para, posteriormente, estudiar en los resultados sus efectos o impactos.
- **Evaluación:** se ha utilizado tradicionalmente como sinónimo para medir el desempeño; los resultados obtenidos de un proceso se comparan con los requisitos o indicadores de calidad aprobados o de referencia (benchmarking), para conocer si hay o no defectos o desviaciones de la calidad (control selectivo).

En la ("NC ISO 9000: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — fundamentos y vocabulario,"), se destacan los métodos de control usados por la dirección para ejercer el control de los procesos.

- **Auditorias:** es el proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias objetivas y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los criterios de auditoria.
- **Revisión:** es la determinación de la conveniencia, adecuación o eficacia de un objeto para lograr los objetivos establecidos. Esta revisión se escala en los siguientes componentes, revisión por la dirección, revisión del diseño y desarrollo, revisión de los requisitos del cliente, revisión de acciones correctivas y evaluación entre partes.

Independientemente del método de control que se utilice, se necesita proporcionar confianza en los datos, por lo que de acuerdo a la característica a controlar y al método de control que se utilice, serán los recursos de seguimiento y medición a emplear; los cuales incluyen encuestas, revisión de documentos, simulaciones y otras actividades de seguimiento y medición. La dirección debe definir e implementar procesos de seguimiento y medición eficaces y eficientes, incluyendo métodos y dispositivos para la verificación y validación de los productos y procesos para asegurarse de la satisfacción del cliente y de las otras partes interesadas.

Los procesos de seguimiento y medición deben incluir la confirmación de que los recursos para estas actividades son aptos para utilizarse y que se mantienen con la exactitud y precisión adecuadas de acuerdo al uso y las normas aceptadas, así como un medio para identificar el estado de los mismos. La organización debe determinar las actividades de seguimiento y



medición a realizar y los recursos necesarios para su realización, proporcionando evidencias de la conformidad del producto con los requisitos determinados. El personal encargado de realizar las actividades de medición y seguimiento debe considerar los siguientes aspectos relativos a los instrumentos de medición y seguimiento:

- Calibrarse o verificarse a intervalos especificados o antes de su utilización.
- Identificarse para poder conocer el estado técnico y de sus parámetros metrológicos.
- Protegerse contra daños o deterioro durante la manipulación, el mantenimiento o almacenamiento y conservación que pudieran invalidar su uso o el resultado de la medición.

1.2. Control Estadístico de la Calidad de Procesos

1.2.1. Surgimiento y desarrollo del Control Estadístico de Procesos

El control estadístico conforma uno de los elementos más avanzados en cuanto al desarrollo del control de la calidad. Estas técnicas se utilizan por primera vez en el año 1924 en Estados Unidos, al aplicar gráficos de control estadísticos diseñados por Walter A. Shewhart (1891-1967) para el control de calidad de productos manufacturados, cuando este laboraba en los laboratorios de la *Bell Telephone*.

Walter A. Shewhart es conocido como el padre del control estadístico de la calidad; definiendo el problema de calidad en términos de variación por causas normales o aleatorias y causas especiales o asignables, introduciendo las gráficas de control como una herramienta de medición y análisis para distinguir entre las dos, y enfatizando en la importancia de poner el proceso de producción en un “estado de control estadístico”, por medio de experimentos diseñados cuidadosamente, como algo necesario para predecir el resultado futuro y administrar un proceso económicamente.

En 1954, el Dr. Joseph Moses Juran (1904-2008), experto en control de calidad, difunde el entusiasmo por los métodos estadísticos y los sistemas de control de calidad entre especialistas y dirigentes, convirtiendo el control de la calidad en instrumento de la dirección de la empresa y mandos intermedios. Desarrolló la “trilogía de Juran,” un enfoque de la gestión que se compone de tres procesos: la Planificación, el Control de la calidad y la Mejora de la calidad.

El Dr. William Edwards Deming (1900-1993), especialista en Estadística, se dedicó a trabajar sobre el control estadístico de la calidad. Fundamentó sus ideas en el mejoramiento de la calidad, la reducción de costos y la utilización del ciclo, denominado en la actualidad, como ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), conocido también como “círculo Deming”. Él afirma que las variaciones del proceso afectan el cumplimiento de la calidad prometida, todo proceso



es variable y cuanto menor sea la variabilidad del mismo, mayor será la calidad del producto resultante.

Posterior a la visita de Deming al Japón de postguerra y la serie de conferencias impartidas sobre la gestión de la calidad, se desarrolla un fuerte movimiento por la mejora de la calidad en este país, dando a conocer a varios especialistas e investigadores que aplicaron y desarrollaron las técnicas estadísticas. Uno de los investigadores más destacados fue el Dr. Kaoru Ishikawa (1915– 1989) quien puso especial atención en el desarrollo del uso de métodos estadísticos prácticos y accesibles para la industria y favoreció el control estadístico de la calidad hacia el control del proceso; investigación de mercados- diseño- producción- ventas, a diferencia del control de calidad basado en la inspección de productos terminados. Al respecto refirió que “si en vez de acudir a la inspección dejamos de producir artículos defectuosos desde el comienzo, en otras palabras, si controlamos los factores del proceso que ocasionan productos defectuosos ahorraremos mucho dinero que de otra manera se gastaría en inspección”.

Desarrollos posteriores del Control Estadístico de Procesos proponen herramientas que perfeccionen las limitaciones de las cartas tradicionales (\bar{X} y R), también conocidas como cartas tipo Shewhart), incrementando la sensibilidad a la hora de detectar desviaciones en los procesos que se evalúan y posibilitando los análisis multivariados. En este sentido destaca la carta **CUSUM** (sumas acumuladas) propuesta por Page (1954) (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013); la carta **EWMA** (por sus siglas en inglés: Exponentially Weighted Moving-Average) “promedios móviles exponencialmente ponderados” presentada por Roberts (1959) y las cartas multivariadas conocidas como cartas Hotelling o T^2 introducidas por Hotelling (1947). Los modelos **ARIMA** utilizados para analizar datos autocorrelacionados; parten de los modelos para datos autorregresivos de orden p (**AR** (p)) y los modelos de medias móviles de orden q (**MA**(q)). La combinación de ambos tipos de modelos tomando en cuenta las diferencias sucesivas entre los valores de la serie se llega a los modelos **ARIMA** (autoregresivos, integrados, medias móviles). (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

1.2.2. Herramientas para efectuar el control estadístico de procesos

El control estadístico de la calidad debe ser considerado como el conjunto de métodos y(o) técnicas estadísticas, que ofrecen la posibilidad de recopilar y realizar el análisis exhaustivo de grandes volúmenes de datos sobre un proceso o característica a controlar; con el objetivo de extraer conclusiones para la mejora del proceso o característica controlado.

Como consecuencia, la aplicación de los métodos o herramientas estadísticas que refieren los diferentes autores tienen como sustento la estadística descriptiva, sin que esta esté declarada



explícitamente. Para logra una mejor comprensión en la utilización de estas técnicas enfocadas hacia el control de la calidad de procesos se pueden clasificar en cuatro grandes grupos.

a) Técnicas para la recopilación de datos

Como bien se plantea estas técnicas están orientadas a la recogida de datos de manera exacta y cuidadosa, los datos tienen que ser reales y su confiabilidad es el punto inicial para todo análisis y posterior interpretación de resultados. Dentro de las técnicas que se utilizan para recopilar datos de destacan las siguientes.

- **Planes de muestreo:** los planes de muestreo establecen la frecuencia y la cantidad de unidades a controlar en un proceso de acuerdo a los volúmenes de producción, al nivel de confianza que se requiera para el proceso o productos que se realice. No se tiene el mismo nivel de confianza para procesos de producción de alimentos, medicamentos o la fabricación de elementos que pongan en riesgo la vida humana o el medio ambiente (aviones, reactores químicos, etc.), que aquellos que su fabricación no implica riesgos a la vida humana (equipos y maquinas industriales y agrícolas).
- **Hojas de control:** también conocidas como planillas de inspección, estas hojas se diseñan de acuerdo al proceso o producto a controlar, fijando el o los parámetros a controlar; registrando los valores que se observen en las mediciones.
- **Tarjado:** aunque se fija de antemano los valores o zonas donde se observaran los datos a registrar, el tarjado forma parte de las técnicas para la recopilación de datos, siendo sumamente útil para la posterior construcción de histogramas de frecuencia y diagramas de Pareto.

b) Técnicas para la clasificación y estratificación de datos.

- **Diagrama de Pareto:** Este gráfico se basa en el principio de Pareto, según este principio entre las muchas causas presentes, sólo hay pocas de importancia vital y muchas de escasa importancia, se conoce también como la técnica de los pocos vitales y muchos triviales.
- **Histogramas de frecuencias:** Representación gráfica de la distribución de un conjunto de datos o de una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de clases. Permite visualizar la tendencia central, la dispersión y la forma de la distribución. (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).
- **Diagrama causa - efecto o diagrama de espina de pescado:** conocido también como el diagrama Ishikawa, ya que fue desarrollado por este en 1943, se utiliza para mostrar la relación entre diferentes efectos (problema) y sus causas y subcausas orientado en una dirección.



- **Gráficos de barras y pastel:** se utilizan para la representación visual de datos cuantitativos, resumiendo grandes cantidades de datos en poco espacio, brindando la información de forma clara y concisa.

c) Técnicas para análisis de variabilidad y estabilidad.

- **Gráficos de control:** independientemente de la variedad que existe en estos tipos de gráficos, ya sea para controlar atributos o variables, una o varias variables; los gráficos de control muestran el comportamiento de esta variable dentro de unos límites establecidos en función del tiempo o número de muestras. Permitiendo evaluar la estabilidad y capacidad de un proceso y la distinción entre causas de variación aleatorias y asignables.

- **Gráfico de caja y bigote:** también conocido como cajas y antenas este grafico se basa en el resumen de la información contenida en los cuartiles; graficándose como un rectángulo (caja) desde el primer hasta el tercer cuartil incluyendo la mediana que divide este rectángulo en dos, y los valores mínimo y máximo con dos rectas que se extienden del primer y tercer cuartil (bigote). Ese grafico permite estudiar la variación y la tendencia central entre procesos y para hacer análisis por estratos (turnos de trabajo, proveedores, máquinas, etc.).

- **Histogramas de frecuencias:** además de su uso para la estratificación y clasificación de datos, los histogramas de frecuencia muestran la forma en que los datos se distribuyen dentro de su rango de variación, permitiendo conocer la tendencia central de los datos, si el proceso está centrado, el nivel de variabilidad del proceso y la existencia de datos raros o atípicos.

- **ANOVA:** permite el estudio de características medidas u observadas, cuyos valores dependan de varios efectos que operan simultáneamente y mediante este análisis poder decidir si tales efectos son o no diferentes.

- **Índices de capacidad o estabilidad:** los índices de capacidad o estabilidad son valores que se determinan para conocer el grado en que un proceso funciona de manera apropiada. Estos índices se determinan a partir de las variables de salida o de respuesta de un proceso, determinando la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada.

d) Técnicas para estimación y predicción.

- **Análisis de regresión:** se utiliza para crear modelos estadísticos que caractericen las relaciones entre una variable dependiente y una o más variables independientes. En dependencia del número de variables independientes, la regresión puede ser simple o múltiple.



- **Análisis de correlación:** es la medida de una relación lineal entre dos variables que se expresa mediante del coeficiente de correlación, este toma valores desde -1 hasta $+1$; el valor de 0 significa que las dos variables no tienen relación lineal entre sí.
- **Prueba de hipótesis:** consiste en investigar, con base en la evidencia contenida en una muestra seleccionada, si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no, y en caso de ser falso, se toma como verdadera la alternativa H_A (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

1.2.3. Usos del control estadístico de procesos

Siempre que existan condiciones, es factible la aplicación de métodos estadísticos en el control de la calidad, ya sea para el análisis de problemas como para el control en sí mismo.

En la literatura se sugieren diversos usos de los gráficos de control, ya sea por variables o por atributos; (Grant, 1974) propone algunas de las potenciales aplicaciones de estos. En el caso de los gráficos por variables \bar{X} y R o \bar{X} y S propone los siguientes usos.

- Analiza un proceso para obtener información para establecer o cambiar sus especificaciones.
- Analiza un proceso para obtener información para establecer o cambiar métodos de producción. Estos cambios están relacionados con la eliminación de causas asignables de variación o cambios en los métodos de producción.
- Analiza un proceso para obtener información para establecer o cambiar procedimientos de inspección en procedimientos de aceptación o ambas cosas.
- Para proporcionar una base para la toma de decisiones reales durante la producción acerca de cuándo investigar causas de variación y tomar acciones correctivas.
- Para proporcionar una base de decisiones rutinarias sobre aceptación o rechazo de un producto manufacturado o suministrado.
- Para familiarizar al personal con el uso de las gráficas de control.

En el caso de los gráficos de control por atributos, (Grant, 1974) propone los siguientes usos para los gráficos p aplicada a una inspección al 100%.

- Descubrir la proporción promedio de artículos defectuosos o partes sometidas a inspección en un periodo de tiempo.
- Para atraer la atención de la administración sobre cualquier cambio en este nivel promedio de calidad.
- Descubrir aquellos puntos altos fuera de control que piden acción para identificar y corregir las causas de la mala calidad.



- Descubrir aquellos puntos bajos fuera de control que indican; ya sea estándares flojos de calidad o causas erráticas de mejoramiento de la calidad que podrían ser convertidas en causas de mejoramiento consistente de la calidad.
- Sugerir lugares para el uso de gráficas \bar{X} y R o \bar{X} y S para hacer el diagnostico de problemas de calidad.
- Aportar una base de juicio acerca de si los lotes sucesivos se pueden ser considerados como representativos de un proceso.

Este mismo autor propone los siguientes usos para las gráficas de control de defectos por unidades, conocida como gráficas c .

- Aplicada al conteo de defectos, todos los cuales deben ser eliminados siguiendo una inspección al 100%; convirtiéndose en un instrumento para la reducción del costo del reprocesado relativo a corregir los defectos y los costos de inspección relativos a la identificación de los defectos. En este caso la gráfica algunas veces llama la atención a una falta de estándares definidos de inspección o de irregularidades en la aplicación de los estándares de inspección (ejemplo. En la inspección de montajes finales de productos complejos).
- Cuando cierto número de defectos por unidad son tolerables, aun cuando su número sea mínimo; aplicándose a muestras periódicas de producción. Este uso proporciona información sobre el nivel de calidad y ayuda a incrementar la uniformidad del producto, colocando presión sobre los puntos fuera de control.
- Para estudios cortos especiales de la variación de la calidad de un producto particular o de una operación de manufactura.
- Para procedimientos de muestreo de aceptación basados en defectos por unidad.

Por otra parte (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) plantean el uso de gráficas \bar{X} y R o \bar{X} y S para las siguientes situaciones.

- Se inicia un nuevo proceso; o se va a desarrollar un nuevo producto con un proceso ya existente.
- En procesos con mal desempeño con respecto a especificaciones.
- Actualmente se mide la variable, pero se conoce poco acerca de la misma.
- Se quieren definir o redefinir especificaciones para una característica de calidad.
- Ya se han usado cartas de atributos, pero el proceso es muy inestable y/o su capacidad sigue siendo mala. En ese caso es mejor una carta para variables continuas, ya que éstas aportan más información acerca del desempeño del proceso.



- Se pretende reducir la cantidad de inspección.
- Procesos en los que hay desgastes o desajustes naturales, y que es necesario compensarlos de manera apropiada.
- Tiene que demostrarse continuamente (a clientes o la gerencia) que el proceso es estable y capaz.

Dentro de las gráficas por variables se puede destacar la carta de individuales (X) señalada por (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) como una variante de las gráficas \bar{X} y R o \bar{X} y S para tamaños de subgrupo $n=1$ aplicada al estudio de procesos lentos, donde hay un espacio de tiempo largo entre una medición y la siguiente.

Para variables discretas, donde se utilizan las gráficas p , np , c , u y du , estos autores recomiendan su uso para las siguientes situaciones.

- La variable candidata es de atributos y no se tiene información acerca de su estabilidad y capacidad.
- El proceso consiste en operaciones complejas de ensamble y la calidad del producto se mide en términos de la ocurrencia de defectos, o con criterios del tipo pasa o no pasa.
- Es necesario que el proceso sea estable y capaz pero no se pueden obtener mediciones de tipo continuo.
- Se requiere tener información sobre la evolución del desempeño global del proceso.

El [anexo 1.1](#) muestra una tabla donde se resumen los gráficos de control más usados, el propósito, el tamaño de subgrupo (n) y otras consideraciones acerca del empleo de estos. Una guía a tener en cuenta para el uso y comprensión de los gráficos de control Shewhart es la NC ISO 8258 ("NC ISO 8258: 2002 Gráficos de control de shewhart,").

En el caso de los gráficos CUSUM, EWMA, ARIMA y las cartas Hotelling o T^2 su uso está enfocado hacia el análisis de variables continuas, por lo que es factible tener en cuenta los mismo usos que se describen para los gráficos \bar{X} y R o \bar{X} y S .

De acuerdo a los usos referidos en los que se emplea el control estadístico de la calidad de procesos, se deduce la contribución de este a la efectividad del sistema de control de la calidad, propendiendo a la disminución de las no conformidades mediante un uso eficiente de los recursos para efectuar el control de calidad, al potenciar el establecimiento de medidas preventivas a partir de los comportamientos históricos y el desarrollo de procesos y métodos de trabajo más eficientes y eficaces.

1.3. Análisis y valoraciones sobre metodologías para el control estadístico de la calidad de procesos

Para la realización del presente trabajo se analizaron 17 metodologías y procedimientos del control estadístico de procesos a diversos campos de la producción y los servicios, desarrolladas desde el año 2005 hasta la actualidad, tanto nacionales como extranjeros: (Alfaro Navarro, 2005), (Busutil Sosa, 2006), (Capote Suárez, 2009), (Fermín et al., 2009), (Hernández Vázquez, 2009), (Ramírez Méndez, 2011), (Ramos Lage, 2012), (Santos Fernández, 2013), (Almeida Consuegra, 2013), (Dionisio Reyes, 2014), (Echemendia Gómez, 2016), (Hernández Pedrera & Da Silva Portofilipell, 2016), (Santana Tamayo, 2017), (Romero Vega et al., 2018), (Hidalgo Díaz, 2019), (Ricardo Torres, 2019), (Rodríguez Vignon, 2020). El estudio y revisión de los principales aportes y limitaciones de los trabajos anteriormente citados, se llevó a cabo a partir del análisis de las siguientes variables: Planificación (Planif), Capacitación (Capacit), Muestreo (Muestreo), Gráfico de Control por Variable (GCPV), Gráfico de Control por Atributos (GCPA), Análisis y Gráficos Multivariado (GMV), Análisis de Capacidad o Aptitud (CapApt), Análisis de estabilidad (Estab), Otras Herramientas Estadísticas (OHEst), Aspectos Metrológicos (Mtrolg), Análisis Económico (AnEconom), Establecimiento de Límites de Tolerancia (EstabLimTol) y Proyección de Mejoras(Mejora).

Con las variables definidas se elaboró una matriz binaria donde se analizó la relación o no de las variables en los enfoques metodológicos. A partir del análisis de correlaciones de distancia con la utilización de la medida Jaccard, se obtuvo como resultado en el estudio por autores un 29.57% de densidad de la red, lo que evidencia un bajo grado de conectividad entre los criterios expresados en las metodologías estudiadas; siendo los autores más centrales Busutil Sosa. Y (2006), Rodríguez Vignon. Y (2020), Ricardo Torres. I. (2019), Hidalgo Díaz. M. (2019), [anexo 1.2.](#)

Las variables menos tratadas en las metodologías y procedimientos revisados fueron; Análisis Y Gráficos Multivariado (GMV), Aspectos Metrológicos (Mtrolg), Análisis Económico (AnEconom) y Análisis de estabilidad (Estab). Al realizar la validación del análisis de las variables mediante análisis de conglomerados jerárquico, se observa que haciendo un corte en el dendograma a la distancia de en 15 se observan la formación de 6 grupos, un grupo que abarca 7 variables, un grupo que abarca 2 variables y 4 grupos que contienen individualmente las variables Análisis Y Gráficos Multivariado (GMV), Aspectos Metrológicos (Mtrolg), Análisis Económico (AnEconom) individualmente; [anexo 1.3.](#)

Atendiendo a los comportamientos observados en las modelaciones de las relaciones entre autores y entre variables, se aprecia consenso entre los autores en cuanto al uso o aplicación



de las variables Planificación (Planif), Proyección de Mejoras (Mejora), Muestreo (Muestreo), Gráfico de Control por Variable (GCPV), Análisis de Capacidad o Aptitud (CapApt) y Capacitación (Capacit) como las principales herramientas para desarrollar el control estadístico de la calidad de procesos.

Las variables Gráfico de Control por Atributos (GCPA), Otras Herramientas Estadísticas (OHEst), Establecimiento de Límites de Tolerancia (EstabLimTol) se tratan indistintamente por diferentes autores, sin que haya una presencia generalizada de estas.

En el caso de la variable Aspectos Metrológicos (Mtrolg), solamente es tratada por dos autores Hernández Pedrera, C. & Da Silva Portofilipe, F. (2016) y Ricardo Torres. I. (2019), Análisis Económico (AnEconom) solamente es tratada por Busutil Sosa. Y (2006); los Gráficos Multivariados (GMV) se tratan por seis autores, destacando los trabajos realizados por Santos Fernández. E (2013) y Alfaro Navarro, J.L. (2005), los cuales se enfocan fundamentalmente en análisis basados en procesos multivariados y el cálculo de índices de capacidad para procesos de este tipo; finalmente la variable Análisis de estabilidad (Estab) solamente es tratada por Rodríguez Vignon. Y (2020) y Capote Suárez. Y (2009).

1.4. Valoración de la situación del control estadístico de la calidad en la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”

De las diversas empresas enclavadas en la provincia la provincia Holguín destaca la “Héroes del 26 de Julio” subordinada al Grupo Empresarial de la Industria Sideromecánica (GESIME) del Ministerio de Industrias (MINDUS), la cual tiene un peso importante en la sustitución de importaciones con la producción de máquinas e implementos agrícolas, así como otras producciones entre las que se destacan piezas de repuesto, motores eléctricos y estructuras metálicas. Para la realización de estas producciones la empresa consta de tres Unidades Empresariales de Base (UEB) Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”; Producciones Mecánicas Banes y Motores Eléctricos TAUBA. [Anexo 1.4.](#)

La empresa cuenta un sistema de gestión de la calidad basado en la norma NC ISO 9001:2015; donde se encuentran debidamente registrados los requisitos de las partes interesadas y las formas en que se desencadenan los procesos de control, tanto por los diferentes niveles de dirección como en la realización de la producción.

Para realizar el control de los parámetros de los productos elaborados se parte de lo establecido en los proyectos y documentación tecnológica utilizada en la fabricación; registrándose las no conformidades en los diferentes momentos del tránsito del objeto de trabajo durante su transformación.

La UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas 26 de julio es considerada como el centro



vital de la Empresa Mecánica tanto por su envergadura como por los niveles de producción que se realizan. En esta UEB se fabrican máquinas e implementos agrícolas, equipos industriales, estructuras metálicas, piezas de repuestos y elementos fundidos.

Dado el volumen de producción de esta en 2019 (UEB 20591.2 MP), se necesita mantener un adecuado nivel en el control de la calidad de sus producciones, por lo que el control estadístico de procesos constituye una poderosa herramienta tanto en el control de los procesos como en la prevención de no conformidades y el desarrollo de procesos de mejora; cuestiones estas que se han visto afectadas o ralentizadas al persistir diversos factores, tales como.

- Insuficiente nivel de preparación de directivos para comprender y exigir la aplicación del control estadístico de la calidad de procesos así como de análisis derivados de la aplicación del mismo.
- Los registros de control de calidad implementados en la empresa no se adecuan para el desarrollo del control estadístico.
- Los análisis de no conformidades omiten los métodos estadísticos que permitan una adecuada estratificación de causas, los niveles de variabilidad y frecuencia de repetición en sus análisis.
- No se determina la capacidad y estabilidad de los procesos, lo que contribuye al desconocimiento de su importancia e influencia en los procesos de mejora.
- Para seleccionar las muestras a controlar solamente tienen en cuenta los preceptos establecidos por la NC ISO 2859-1: 2018 Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos — parte 1: planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el límite de calidad de aceptación, sin que se evalúen otros elementos tales como índices de rechazo o capacidad y estabilidad del proceso para establecer planes de muestreo específicos.
- La capacitación que se le brinda al personal técnico responsable del control de la calidad solo contempla aspectos relacionados a la interpretación de las tecnologías de producción y el uso de instrumentos de medición, no incluye el uso y aplicación de métodos estadísticos.

Esta situación conlleva a la concepción de una metodología que permita colocar el control estadístico de procesos como herramienta de análisis tanto para la detección y prevención de no conformidades como para la introducción de procesos de mejora que coadyuven a la optimización de los diferentes procesos de la empresa; además de ir sentando las pautas para la creación de un sólida base estadística para la realización de análisis de estabilidad y capacidad de los diferentes procesos de realización y su impacto en los resultados financieros de la organización.

1.5. Conclusiones del capítulo

Los análisis realizados en el capítulo permitieron arribar a las siguientes conclusiones:

1. Existen diferentes concepciones teóricas sobre el control de la calidad como actividad o acción reguladora de procesos, el cual se puede realizar de acuerdo al nivel jerárquico que lo efectúe por diversos métodos de acuerdo al objeto a controlar.
2. El control estadístico de la calidad de procesos constituye una poderosa herramienta, contando con un abanico de herramientas y aplicaciones que se han ido enriqueciendo desde sus inicios hasta la actualidad. La aplicación del control estadístico de la calidad de procesos extiende su influencia más allá de obtener información sobre la variabilidad de un proceso, llegando hasta la modificación de las especificaciones y métodos de producción entre otros usos.
3. De las metodologías e investigaciones estudiadas se observa un débil tratamiento a cuestiones relacionadas con los aspectos metrológicos, los análisis económicos y el trabajo con gráficas multivariadas.
4. En la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio” el control estadístico de la calidad de procesos no se identifica como herramienta para el control de la calidad y menos para el mejoramiento de procesos, por lo que la implementación de una metodología para el control estadístico de la calidad de procesos contribuirá a mejorar la efectividad del control de la calidad de procesos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS

2.1. Metodología para el control estadístico de la calidad de procesos

Este capítulo tiene el objetivo de presentar el diseño de una metodología para el control estadístico de la calidad de procesos como herramienta para la evaluación, seguimiento y perfeccionamiento de los procesos, permitiendo lograr la mejora de la efectividad del sistema de control de la calidad y los procesos de mejora. Para su concepción se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Análisis crítico de las metodologías para el control estadístico de la calidad de procesos.
- Análisis de los fundamentos teóricos del control estadístico de la calidad de procesos.
- El diagnóstico del control de la calidad aplicado a la UEB Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas “26 de Julio”.
- La selección de las técnicas estadísticas útiles al control estadístico de la calidad de procesos.

La metodología diseñada consta de cuatro etapas, dos fases, 14 pasos, ocho tareas, nueve alternativas, cuatro variantes y tres acciones, (figura 1.1.) Esta metodología responde a los principios que se listan a continuación:

- Participativo: Para garantizar que todo el personal y trabajadores involucrados participen comprometidos con el funcionamiento y éxito de la metodología.
- Flexible: Permite adecuarse a las características de la organización.
- Permanente: por el carácter cíclico que la distingue, pues debe ajustarse a los nuevos cambios que surjan constantemente en el entorno, además de evaluar sus resultados permitiendo el seguimiento, control del sistema a partir de la comunicación, la información y la mejora.

Etapa 1. Preparatoria

Objetivo: preparar las bases para el posterior estudio y desarrollo del control estadístico de la calidad, potenciando la selección y preparación de las personas que realizarán los estudios y una adecuada selección del proceso a controlar.

Paso 1.1 Selección del equipo de trabajo.

El equipo de trabajo estará constituido por representantes de la calidad de la Empresa Mecánica; tecnólogos, técnicos en gestión de la calidad y directivos de la UEB y talleres con suficiente experiencia y nivel de conocimientos en el desarrollo de los procesos productivos y su control. Este equipo debe ser responsable de crear las bases para la implementación de la



metodología y la planificación y ejecución del control estadístico de la calidad del proceso explicando la secuencia metodológica que esta debe seguir.

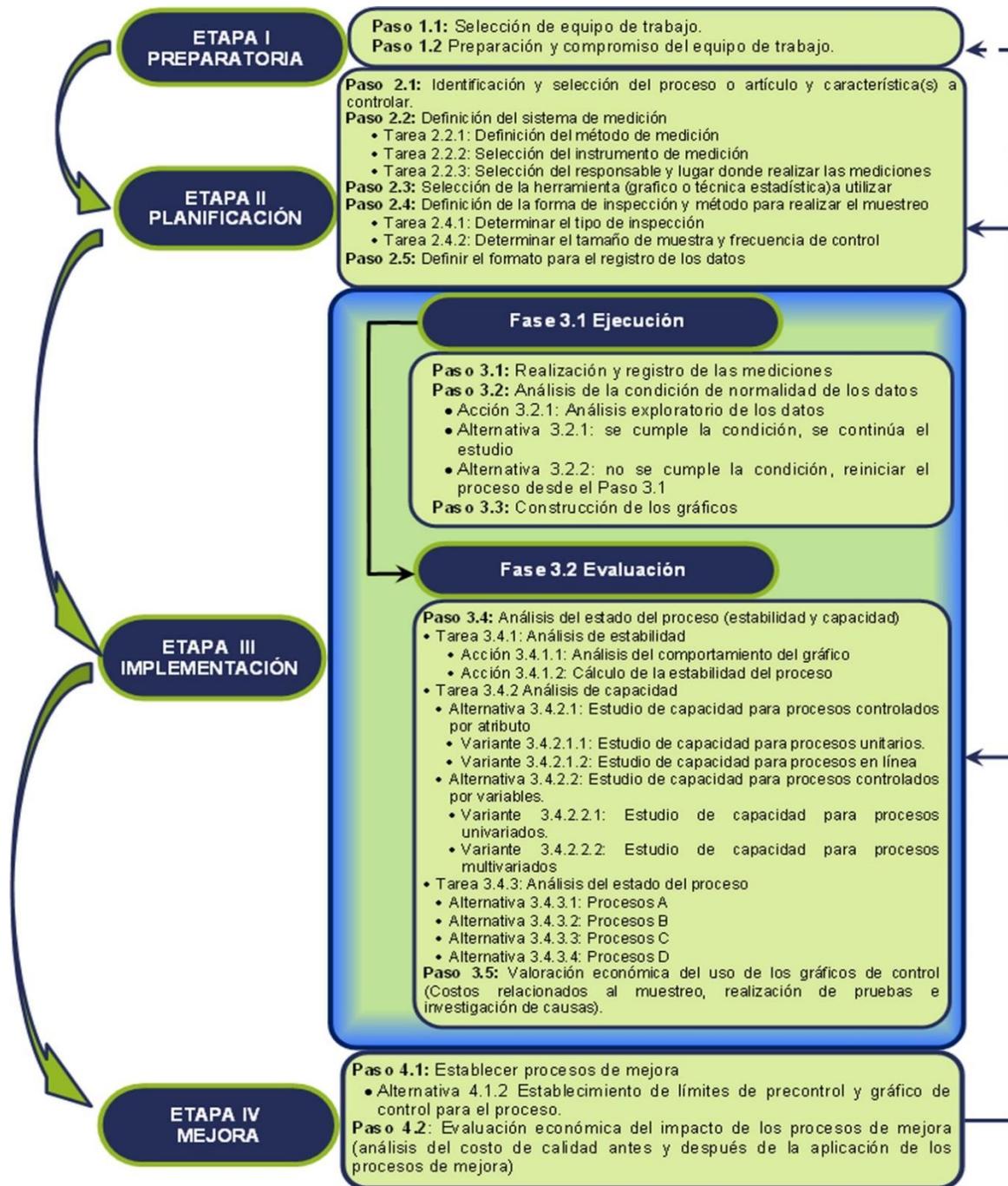


Figura 1.1: Metodología el control estadístico de la calidad de procesos.



Paso 1.2 Preparación y compromiso del equipo de trabajo.

Para la aplicación de la metodología es indispensable la preparación y comprensión de todo el personal seleccionado respecto a las actividades y técnicas que se utilizan en el control estadístico. Para esto se establecerá un programa de capacitación que comprenda conferencias, seminarios, talleres, además de cualquier otra variante de preparación que se adapte a las condiciones propias de la organización, donde se profundice en las técnicas estadísticas asociadas al control de la calidad, sus fundamentos y formas de operar, además del uso de software estadísticos; haciendo énfasis en las potencialidades del control estadístico como herramienta avanzada para el control de la calidad, la toma de decisiones, la prevención de no conformidades y la detección de oportunidades de mejora. Se debe asegurar que los miembros del equipo comprendan las técnicas, herramientas y variables a considerar en el control de la calidad para propiciar la motivación y compromiso de todo el personal involucrado respecto a la metodología a aplicar.

Etapas 2. Planificación

Objetivo: establecer las bases para el despliegue del control estadístico sobre un proceso o artículo y la característica a controlar de acuerdo al objetivo planteado.

Paso 2.1 Identificación y selección del proceso o artículo y característica(s) a controlar

Para lograr que el control y su posterior resultado puedan tener un uso efectivo en la mejora, es necesario realizar una adecuada identificación y selección del proceso o artículo y la característica a controlar; para esto se observará si el proceso o artículo es de nuevo desarrollo, las interacciones con otros procesos, el peso específico dentro de la producción (volumen de producción), los comportamientos históricos en la generación de no conformidades, entre otros; siempre teniendo en cuenta los usos para los cuales se recomienda el control estadístico de la calidad ([capítulo I epígrafe 1.2.3](#)).

Para facilitar la identificación y selección del proceso o artículo y la característica a controlar se utilizarán técnicas para la recopilación y la clasificación y estratificación de datos. La tabla 2.1 sugiere algunas de las técnicas posibles a utilizar.

Tabla 2.1. Técnicas para la recolección, clasificación y estratificación de datos.

Técnicas para recopilar datos	Técnicas para la clasificación y estratificación de datos.
Hojas de control	Diagrama de Pareto
Tarjado	Histograma de frecuencia
Tormenta de ideas	Gráficos de barra y(o) pastel
Criterio de expertos	Diagrama causa efecto
Diagramas para Análisis de procesos (OTIDA)	



El equipo de trabajo identificará mediante el uso de alguna de las técnicas antes mencionadas o alguna más que considere necesario introducir los procesos o artículos y características a controlar.

Paso 2.2 Definición del sistema de medición

Para lograr que los datos observados tengan la precisión y exactitud requeridas, y a la vez disminuir los niveles de incertidumbre de las mediciones que se realizarán, el equipo de trabajo debe determinar un observador, el lugar donde realizar las mediciones, el método de medición y el instrumento de medición a utilizar.

Tarea 2.2.1 Definición del método de medición

Para la selección del método de medición apropiado deben considerarse varios factores tales como: las particularidades constructivas del objeto de medición, disponibilidad de los instrumentos y sistemas de medición, tiempo para la realización de las mediciones, el nivel de exactitud que se requiera y la economía del proceso de medición. Básicamente los métodos de medición se dividen en métodos directos e indirectos.

Los **métodos directos** se caracterizan por determinar las cantidades de las magnitudes a medir por la lectura directa de la escala del instrumento, sin que se requiera de cálculos especiales para obtener el resultado de la medición.

Los **métodos indirectos**, como su nombre indica no se obtienen mediante una lectura directa en un instrumento; el valor de la magnitud a medir se obtiene mediante la medición de otras cantidades de magnitud relacionadas por medio de una dependencia funcional establecida en ecuaciones. Este método presenta otras clasificaciones de acuerdo al criterio de comparación entre la magnitud a medir y su unidad de medida; la tabla 2.2 muestra los principales métodos de medición indirecta y sus características fundamentales.

Tabla 2.2. Métodos indirectos de medición.

No	Método de medición	Características
1	Comparación directa	El valor de la magnitud a medir se obtiene mediante instrumentos de medición que conservan la unidad de medida, permitiendo compararla con su unidad y obtener el valor de esta.
2	Por sustitución o transferencia	Mediante un comparador se mide la magnitud a medir en el objeto de medición y luego un valor de referencia.
3	Por coincidencia	Se determina la diferencia entre la magnitud a medir y el valor de referencia del patrón, utilizando la coincidencia de los trazos de la escala o señales periódicas.
4	Medición cero o nulo	Se basa en que el efecto resultante de la relación entre la magnitud a medir y la magnitud de referencia en un comparador lo reducen hasta cero
5	Método	Se basa en la determinación de la diferencia entre el valor de una



	diferencial	magnitud de referencia (conocida) y el valor de una magnitud desconocida.
--	-------------	---

Los métodos combinados son los que resultan de la combinación de los métodos anteriores.

Tarea 2.2.2 Selección del instrumento de medición

Para seleccionar el instrumento de medición se debe tener en cuenta que:

- El mismo haya sido calibrado y se encuentre dentro del período válido establecido en su plan de calibración al momento de su utilización.
- El rango de indicación comprenda los valores en que se realizaran las mediciones.
- El valor de división permita cumplir con la exactitud requerida para el uso previsto, esta debe ser de 1/5 a 1/10 del error tolerado para la medición.
- Que las unidades de medida que tiene el instrumento sean en unidades del Sistema Internacional de unidades o en unidades permitidas por ley para la magnitud dada.
- Que el instrumento no presente daños o fallas que afecten la exactitud y precisión del instrumento.

Tarea 2.2.3 Selección del responsable y lugar donde realizar las mediciones

La selección del responsable de realizar las mediciones debe tener en cuenta que este conozca el método de medición seleccionado y el manejo del instrumento a emplear en las mediciones, se debe tener en cuenta además que no tenga ningún impedimento físico o fisiológico que le obstaculice la manipulación y lectura de los instrumentos de medición seleccionados (débil visual, invalidez parcial de una extremidad).

La selección del lugar donde se realizaran las mediciones debe estar lo más cerca posible del proceso donde se ejecuta la característica a medir, observándose que las condiciones de iluminación permitan realizar la lectura del instrumento de forma clara y precisa, igualmente las condiciones nominales de explotación del instrumento (temperatura y humedad) deben estar dentro del rango en el cual se determinaron sus errores.

Paso 2.3 Selección de la herramienta a utilizar

Atendiendo a la característica o características a controlar del proceso o artículo será el tipo de variable que lo defina, esta puede ser continua o discreta. De acuerdo al tipo y cantidad de variables que se definan, serán las técnicas a utilizar para la realización del control estadístico.

Análisis para variables continuas

Las variables continuas son aquellas que pueden tomar valores en todo el conjunto de números reales o un intervalo de este, están asociadas a características que pueden medirse cuantitativamente, por ejemplo peso, longitud, temperatura, fuerza, ángulo, etc. (Guerra Bustillo



& Otros, 2003) En dependencia de la cantidad de variables a analizar se pueden realizar análisis invariados (una sola variable) o multivariado (2 o más variables a la vez).

- Análisis univariado: las técnicas usadas en estos análisis permiten analizar la variabilidad de una sola característica o variable; para este tipo de análisis se utilizan las técnicas que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Herramientas para realizar análisis univariados.

• Histogramas
• Gráficos para variables tipo Shewhart \bar{X}, R, S y X (medias, rangos, desviación estándar e individuales)
• Gráfico de caja y bigote.
• Cálculo de índices de capacidad ($C_p, C_{pk}, C_{pl}, C_{ps}, P_p, Z_c$, etc.)
• Carta CUSUM (sumas acumuladas)
• Carta EWMA (por sus siglas en inglés: Exponentially Weighted Moving-Average)

- Análisis Multivariado: las técnicas usadas en estos análisis permiten analizar la variabilidad de 2 o más características o variables; para este tipo de análisis se utilizan las técnicas que se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Herramientas para realizar análisis multivariados.

• Gráfico de caja y bigote.
• Carta ARIMA (autorregresivos, integrados, medias móviles)
• Gráfico de control de Hotelling's (T^2)
• Análisis de correlación
• ANOVA

Análisis para variables discretas.

Las variables discretas son aquellas que solo pueden tomar un conjunto finito a lo más numerable de posibles valores, estas están asociadas a características contables, (Guerra Bustillo & Otros, 2003) tales como número de unidades defectuosas, número de defectos por unidad, entre otras. Por las características de estas variables, las técnicas que se utilizan para su análisis se concentran más en descubrir los puntos donde existe la potencial variabilidad que en medir la magnitud de esta. Para los análisis de las variables discretas se pueden utilizar las técnicas que se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Herramientas para realizar análisis a variables discretas.

Gráficos para atributos tipo Shewhart $p, 100p, np, c, uy du$
Gráfico de caja y bigote.
Cálculo de índices de capacidad (DPMO, DPU, DPO, DPMO, Z_c, C_{pk})



Las formas típicas de los gráficos y las referencias para conocer los procedimientos de cálculo de los parámetros de cada una de las técnicas antes relacionadas, ya sea para controlar variables discretas o continuas (univariada o multivariadas), se describen en el [anexo 2.1](#). Los índices de capacidad se describen en la Etapa III de la metodología.

Para la selección de la herramienta a utilizar, pueden considerarse los elementos que ofrecen (Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara Salazar, R. 2013) [anexo 1.1](#).

Paso 2.4 Definición de la forma de inspección y método para realizar el muestreo

El equipo de trabajo establecerá la forma de inspección y el método para la realización del muestreo en correspondencia con las particularidades propias del proceso o artículo y característica seleccionada, además tendrá en cuenta la herramienta seleccionada para el estudio de la variabilidad (inspección por atributo o por variables) ver [anexo 2.2](#).

Tarea 2.4.1 Determinar el tipo de inspección

El tipo de inspección se establece de acuerdo al tipo y volumen de producción que se realiza.

Los tipos de inspección pueden ser:

- Inspección 100%.
- Inspección por muestreo.

La inspección al 100% solo debe utilizarse en los siguientes casos:

- Para las características de calidad que puedan tener una gran incidencia sin los productos que se elaboran y cuyo incumplimiento pueda llevar a la ocurrencia de defectos con grandes riesgos o graves consecuencias para los usuarios, o grandes pérdidas económicas.
- Para situaciones muy especiales, por ejemplo: comprobar el funcionamiento de equipos.
- En procesos no aptos.

La inspección por muestreo es necesaria en los siguientes casos:

- Pruebas destructivas.
- Inspección de productos de gran longitud.
- Inspección de grandes cantidades.
- Cuando se desea minimizar los costos de inspección.
- Cuando existen muchas áreas a inspeccionar.

Tarea 2.4.2 Determinar el tamaño de la muestra y su frecuencia de control

Dado que el objetivo final de la inspección es el control del proceso, el equipo de trabajo debe escoger el tamaño de la muestra en dependencia de la forma de inspección que se vaya a utilizar:

Inspección por variables

- Los tamaños de muestra más empleados oscilan entre 1 y 25 subgrupos. Los subgrupos de 2 o 3 unidades son poco empleadas por su baja sensibilidad, empleándose sólo cuando el costo de las mediciones es muy alto.
- Los subgrupos de tamaño 5 facilitan los cálculos de la media en comparación con los de 4 ó 6.
- Los subgrupos de tamaño 10 hasta 25 se utilizan cuando se desea una alta sensibilidad en el gráfico.
- Tamaños de muestras > 25 subgrupos se emplean excepcionalmente.

Inspección por atributos

- El tamaño de los subgrupos y el intervalo entre los mismos debe ser tal que se inspeccione aproximadamente un 5 % de la producción.
- En los procesos muy masivos que no presentan dificultades frecuentes o el porcentaje de producción defectuosa no es grave, este porcentaje se puede rebajar a menos de un 5 %.
- En el proceso que sufre a menudo variaciones en la calidad de su producción o cuando el aumento del costo que origina la presencia de unidades defectuosas es muy elevado, se podrá considerar económico seleccionar hasta el 10 %.
- Utilizar las indicaciones de la ("NC-ISO 2859-1: Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos — parte 1: planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el límite de calidad de aceptación (LCA),").

Para determinar la frecuencia de control no existe alguna regla establecida. Las muestras deben tomarse lo más cerca una de otra para tener oportunidad de detectar los cambios en las características del proceso lo antes posible y reducir las posibilidades de producir gran cantidad de resultados no conformes, cuidando de que la toma de muestra no sea tan cercana una de otra que el costo del muestreo supere los beneficios estimados. Tomar muestras grandes con frecuencia es recomendable, pero no económico. Para lograr este equilibrio se puede seguir los factores sugeridos por Feigenbaum.

1. El tamaño de muestra seleccionado.
2. Las características de la operación tecnológica
 - a. Volumen de producción (Razón de producción por hora).
 - b. Condición del proceso o comportamiento del proceso (errático, estable, controlado).



Paso 2.5 Definir el formato para registro de los datos

El equipo de trabajo debe definir los registros de control, donde se recopile la información de las inspecciones realizadas. Para esto se revisará que los registros establecidos por la organización permitan desarrollar el control estadístico de forma adecuada. En caso de que los registros no se adapten para estas funciones se adoptará el registro que se propone en el [anexo 2.3](#) para su utilización en los grafico por variables.

Para trabajar los gráficos por atributos se pueden emplear hojas de registro sencillas donde se tabulen las unidades producidas y las unidades no conformes o se realizaran diseños especiales para registrar número de defectos por componentes o deméritos por unidades.

Etapa 3. Implementación

Objetivo: llevar a cabo las acciones prácticas del control estadístico, con la realización de las mediciones, construcción de los gráficos y el análisis del estado del proceso para la generación de alternativas para el mejoramiento de los procesos.

Esta etapa se subdivide en 2 fases; **Fase 3.1 Ejecución** y **Fase 3.2 Evaluación**.

Fase 3.1 Ejecución

En esta fase se realizarán las acciones relacionadas con las mediciones y revisión de los datos para los posteriores análisis.

Paso 3.1 Realización y registro de las mediciones

Seleccionado el proceso o artículo y característica a controlar, se realizarán las mediciones necesarias, atendiendo a la forma de inspección y método de muestreo seleccionado y de acuerdo a los registros establecidos para la anotación de las observaciones. La realización y registro de las mediciones se debe realizar con el mayor rigor posible, ya que estas constituyen los datos primarios de los cuales se desprenden los análisis y resultados relacionados con la capacidad y estabilidad del proceso estudiado.

Paso 3.2 Verificación de la condición de normalidad

La verificación de la condición de normalidad se requiere para aquellos datos provenientes de variables continuas (longitud, peso, temperatura, etc.). Esta verificación se requiere para la realización de estudios de capacidad a variables con doble especificación.

Para realizar este análisis se revisará inicialmente la existencia de datos fuera de los parámetros normales de lectura mediante el análisis exploratorio de datos y posteriormente se verifica la condición de normalidad mediante las dócimas o pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrado, Kolmogorov-Smirnov u otras.



Acción 3.2.1 Análisis exploratorio de los datos

El análisis exploratorio de los datos tiene como objetivo realizar un examen a fondo de la estructura de los datos, analizar los datos exhaustivamente y detectar las posibles anomalías que presentan las observaciones, llamados datos extraños, aberrantes o atípicos (outliers) para ser eliminados y evitar que se distorsione la información. Este análisis se puede realizar utilizando alguna de las siguientes variantes:

- Gráfico de tallo y hojas.
- Gráfico de caja y bigotes.
- “Utilización del criterio de eliminar datos por fuera de 2,5; 3; 4; o más desviaciones tipo de la media” dado por Juran, J. (1999).

Alternativa 3.2.1: se cumple la condición de normalidad

Se cumple la condición de normalidad. Se continúa el estudio.

Alternativa 3.2.2: no se cumple la condición de normalidad

No se cumple la condición de normalidad. Se redefine la forma de inspección y método de muestreo; se reinicia la etapa 3.

Paso 3.3 Construcción de los gráficos

Con los datos reunidos y mediante la ayuda de software estadísticos (STATGRAPHICS) u hojas de cálculo en EXCEL preparadas, se plotan los datos y se determinan los límites de control estadísticos de acuerdo al tipo de gráfico seleccionado.

Fase 3.2 Evaluación

En esta fase se analizan los resultados de las mediciones realizadas y se proyectan las medidas a aplicar.

Paso 3.4 Análisis del estado del proceso (estabilidad y capacidad)

El análisis del estado del proceso parte de conocer la forma en que se controla el proceso, ya sea por atributos o por variables, de aquí se determina la estabilidad y capacidad del proceso y finalmente se conoce el estado del proceso, lo que permite definir las estrategias de mejora.

Tarea 3.4.1: Análisis de la estabilidad del proceso

Con el gráfico elaborado se procede a analizar la estabilidad del proceso. Un proceso estable es un proceso bajo control estadístico, “cuando un proceso está bajo control estadístico, los puntos en la gráfica de control fluctúan en forma aleatoria entre los límites de control, sin seguir ningún patrón que se pueda reconocer” **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013).**



Acción 3.4.1.1: Análisis del comportamiento del gráfico

El análisis del comportamiento de los puntos ploteados en el gráfico proporciona información sobre el estado del control de un proceso; la siguiente lista proporciona un conjunto de reglas generales para analizar un proceso a fin de determinar si está bajo control:

- Ningún punto se encuentra fuera de los límites de control.
- El número de puntos por encima y por debajo de la línea central es aproximadamente la misma.
- Los puntos parecen caer en forma aleatoria por encima y por debajo de la línea central.
- La mayoría de los puntos, pero no todos, están cerca de la línea central, y sólo algunos están cerca de los límites de control.

La existencia de punto(s) fuera de los límites de control, comportamiento no aleatorio (por ejemplo, una tendencia ascendente, un movimiento cíclico, etc.) es señal de inestabilidad (falta de control estadístico). En el [anexo 2.4](#) se ofrecen los patrones que establecen la falta de control estadístico y sus potenciales causas.

De acuerdo al comportamiento observado se listarán las causas que lo provocan para el posterior análisis del estado del proceso; estas causas pueden ser asignables o especiales o aleatoria o común.

Causa asignable o especial: Factores (generalmente numerosos, pero individualmente de relativa importancia) que se puede detectar e identificar como causante de un cambio en una característica de la calidad o nivel del proceso.

Causa aleatoria o común: Factores generalmente numerosos pero poco importantes, que contribuyen a la variación y no han sido necesariamente identificados.

Acción 3.4.1.2: Cálculo de la estabilidad del proceso

Para determinar la estabilidad del proceso se calcula el índice de inestabilidad S_t , este índice mide que tan inestable es un proceso y se obtiene del cociente del número de puntos especiales entre el total de puntos graficados.

$$S_t = \frac{\text{Número de puntos especiales}}{\text{Total de puntos graficados}} * 100$$

El **Total de puntos graficados** corresponde a la cantidad de puntos que fueron ploteados en el gráfico de control; mientras que el **Número de puntos especiales** se refiere a la cantidad de puntos que indicaron que una causa especial ocurrió en el proceso; estos puntos especiales serán los puntos que caen fuera de los límites más los que indicaron los patrones especiales no aleatorios, de acuerdo con los criterios de interpretación de la carta. Para determinar los puntos



especiales se puede seguir el ejemplo sugerido por **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013)**, “en el caso del patrón de tendencias que requiere de 6 puntos consecutivos de manera ascendente (o descendente), si se detecta una tendencia de 8 puntos de manera ascendente, entonces se contabilizarán sólo 3 puntos especiales, ya que durante los primeros 5 aún no se declaraba o detectaba la tendencia. En el caso de rachas de un solo lado de la línea central, si se observan 11 puntos consecutivos por abajo de la línea central, entonces como se requieren 8 para declarar el patrón, sólo se contabilizarán 4 puntos especiales (el 8, 9, 10 y 11)” La interpretación del **Índice de inestabilidad S_i** parte de que el valor ideal es cero, esto sucede cuando no han aparecido puntos especiales, lo que indica que el proceso es estable. En la medida que aparezcan comportamientos no aleatorios que generen puntos especiales el proceso perderá estabilidad. La tabla 2.6 resume los valores planteados por **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013)** para clasificar los niveles de estabilidad de un proceso.

Tabla 2.6. Valores de S_i y parámetros para clasificar la estabilidad de un proceso.

Para gráficos con 150 o más puntos		Para gráficos con 25 o 30 puntos		Nivel de estabilidad del proceso
Valor de S_i	Puntos especiales	Valor de S_i ajustados	Puntos especiales	
0-2%	3	0-4%	1	Proceso relativamente estable
2 a 4%	5	4-8%	2	Proceso regularmente estable
Más de 4%	Más de 5	Mayor de 8%	Más de 2	Proceso inestable

Aunque se plantea que se debe acumular como mínimo 150 puntos en la gráfica para determinar el S_i ; estos valores pueden ajustarse a las condiciones prácticas de la tecnología y el equipamiento que tenga el objeto de estudio, además de la duración de los estudios, ya que al no contarse con series históricas, los análisis con series cortas (20, 25 o 30 muestras) pueden arrojar resultados aceptables sobre la estabilidad de un proceso. La columna **Para gráficos con 25 o 30 puntos** de la tabla 2.2 ofrece **Valor de S_i ajustados** para estudios en los que las muestras se encuentren entre 25 y 30 subgrupos.

Tarea 3.4.2 Análisis de la capacidad del proceso

Una vez determinada la estabilidad del proceso, se analiza que este sea capaz de cumplir con las especificaciones, para esto se determinan los índices de capacidad atendiendo al tipo de estudio que se esté realizando ya sea por variables o por atributos, teniendo en cuenta la definición de proceso capaz que brindan **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013)**.



Proceso capaz: Proceso que cumple con especificaciones de tal forma que el nivel de disconformidades es suficientemente bajo para garantizar que no habrá esfuerzos inmediatos para tratar de bajarlas y mejorar su capacidad.

Alternativa 3.4.2.1 Estudio de capacidad para procesos controlados por atributo

De acuerdo a las características propias de cada proceso, es que múltiples de estos miden su efectividad partiendo de los niveles de la fracción defectiva, número de defectuosos o número de defectos por unidad. Atendiendo a esta característica se hace necesario conocer la capacidad o aptitud de los mismos.

Variante 3.4.2.1.1 Estudio de capacidad para procesos unitarios

Para analizar procesos unitarios, se emplean los índices que se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Índices de capacidad para procesos unitarios evaluados por atributos.

Índice de capacidad	Método de calculo
<p>Defectos por Unidad (DPU) Métrica de calidad que es igual al número de defectos encontrados entre el número de unidades inspeccionadas. No toma en cuenta las oportunidades de error.</p>	$DPU = \frac{d}{U}$ <p>U: número de unidades inspeccionadas. d: número de defectos observados</p>
<p>Defectos por oportunidad (DPO) Métrica de calidad que es igual al número de defectos encontrados entre el total de oportunidades de error al producir una cantidad específica de unidades.</p>	$DPO = \frac{d}{U * O}$ <p>U: número de unidades inspeccionadas. d: número de defectos observados O: número de oportunidades de error por unidad.</p>
<p>Defectos por millón de oportunidades (DPMO) Métrica Seis Sigma para procesos de atributos que cuantifica los defectos esperados en un millón de oportunidades de error.</p>	$DPMO = DPO * 10^6$
<p>Nivel de calidad 6 sigma (Z_C) Proceso cuya capacidad para cumplir especificaciones a corto plazo es igual a Z_C = 6 o cuando es a largo plazo Z_L = 4.5. Para determinar este índice de capacidad se siguen los pasos que se muestran al lado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcular el rendimiento Y del proceso. $Y = e^{DPU}$ 2. A partir del valor de Y, buscar el nivel de sigma a largo plazo (Z_Y) en la tabla de distribución normal o en Excel con la función DISTR.NORM.ESTAND.INV(Y) 3. Se determina el valor de sigma a corto plazo Z_C. $Z_C = Z_Y + \Delta\sigma_e$ $\Delta\sigma_e$: desplazamiento de sigma (se estima un desplazamiento de hasta 1.5) 4. Buscar el nivel de partes por millón (PPM) correspondiente al nivel de Z_C o calcularlo y comparar el estado del proceso. $PPM = (1 - Y) * 10^6$
<p>Índices C_{pk} y P_{pk} partiendo de Z_C y Z_L</p>	$C_{pk} = \frac{Z_{ct}}{3}, \quad P_{pk} = \frac{Z_{lt}}{3}$



Los índices **DPU**; **DPO** y **DPMO**, se comparan con valores establecidos por la organización a partir del comportamiento histórico dado por el estado del equipamiento y la tecnología empleada. Los índices Z_C , C_{pk} y P_{pk} se evalúan a partir de la tabla **Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p , Z_C , Z_L y PPM** las cuales se muestran en el [anexo 2.5](#).

Variante 3.4.2.1.2 Estudio de capacidad para procesos en línea (evaluación de varias operaciones en línea)

El análisis de capacidad o aptitud para procesos en línea ofrece un mayor nivel información que el análisis de procesos unitarios, ya que de este modo se evalúa el comportamiento de múltiples operaciones que se vinculan para dar un producto terminado. El índice Y_C , **Rendimiento Combinado (Rolled Throughput Yield)**, se interpreta como la probabilidad de que una unidad esté libre de defectos desde la primera hasta la última etapa del proceso **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013)**

El índice Y_C se determina a partir del producto de los rendimientos combinados de cada una de las operaciones o etapas del proceso realizados a la primera, o sea sin que se hayan realizado reprocesos ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_i$)

$$Y_C = Y_1 * Y_2 * Y_3 * \dots * Y_i$$

$$Y_i = \frac{\text{Número de unidades que pasan a la primera vez en la etapa } i}{\text{Número de unidades probadas en la etapa } i}$$

El índice Y_C se interpreta como la probabilidad de que una unidad esté libre de defectos desde la primera hasta la última etapa del proceso **Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013)**.

El análisis de este índice se debe asociar a los gráficos de representación de procesos (OTIDA) para facilitar la identificación de las etapas (operaciones) y la representación de las probabilidades de cada una de ellas. En un eje de coordenadas de operaciones contra los niveles de probabilidad se graficaran las probabilidades individuales de cada operación y el rendimiento acumulado del proceso, esto facilita los análisis e interpretación de los resultados.

Partiendo del índice Y_C es posible dar un índice de capacidad en niveles de sigma (Z_C), para esto se calcula el *rendimiento promedio normalizado* Y_{PN} . Donde k es el número de etapas (oportunidades) o pasos en el proceso.

$$Y_{PN} = (Y_C)^{1/k}$$

Obtenido Y_{PN} , a partir de este valor se estima el nivel de sigma a largo plazo ($Z_{Y_{PN}}$). Donde $P(Z < Z_{Y_{PN}}) = Y_{PN}$ o $P(Z > Z_{Y_{PN}}) = 1 - Y_{PN}$; por tanto $Z_{Y_{PN}} = Z_L$ (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara



Salazar, 2004); estos valores de probabilidad se buscan en una tabla para la distribución normal o en Excel con la función **DISTR.NORM.ESTAND.INV**(Y_{PN}).

Para determinar el valor de sigma a corto plazo Z_{ct}

$$Z_C = Z_{Y_{PN}} + \Delta\sigma_e$$

$\Delta\sigma_e$: Desplazamiento de sigma (se estima que este desplazamiento sea de hasta 1.5σ)

Con el valor del índice Z_C calculado se puede buscar el nivel de partes por millón (PPM) correspondiente o calcularlo y comparar el estado del proceso; además de calcular los índices C_{pk} y P_{pk} .

$$PPM = (1 - Y) * 10^6$$

$$C_{pk} = \frac{Z_C}{3}, \quad P_{pk} = \frac{Z_{Y_{PN}}}{3}$$

Los valores obtenidos de Z_C , C_{pk} y P_{pk} se evalúan en la tabla **Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p , Z_C , Z_L y PPM** del anexo 2.5.

Alternativa 3.4.2.2 Análisis de la capacidad del proceso controlados por variables

Los estudio de capacidad para procesos controlados por variables permiten conocer la amplitud de la variación natural del proceso en relación con sus especificaciones y su ubicación respecto al valor nominal, para una característica de calidad dada, y así saber en qué medida cumple los requerimientos (Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. 2013). Dependiendo de la cantidad de variables utilizadas en el estudio realizado el cálculo de los índices de capacidad del proceso pueden ser univariados o multivariados.

Variante 3.4.2.2.1 Estudio de capacidad para procesos univariados

Para los análisis de capacidad de procesos univariados se utilizan índices de capacidad a corto y a largo plazo los cuales se muestran en el [anexo 2.6](#), las claves para la interpretación de estos índices se muestran en el anexo 2.5.

El uso de hojas de EXCEL preparadas o software estadísticos facilita el cálculo e interpretación de estos índices. La utilización de estos índices estará en función de los objetivos que se persigan con el control estadístico a procesos, adoptándose unos más que otro indistintamente.

Variante 3.4.2.2.2 Estudio de capacidad para procesos multivariados

Santos Fernández propone varios índices para evaluar la capacidad de procesos multivariados, aquí se muestran dos con las variables que se tienen en cuenta para su cálculo.



Tabla 2.8. Índices de capacidad para procesos evaluados por métodos multivariados.

Descripción del índice	Fórmula de Cálculo	Variables
Vector Multivariado de Correlación [CpM, PV, LI]	$CpM = \left[\frac{\prod_{i=1}^p (USL_i - LSL_i)}{\prod_{i=1}^p (UPL_i - LPL_i)} \right]^{1/p}$ $PV = P(T^2 > \frac{p(m-1)}{m-p} F_{p,m-p})$	<ul style="list-style-type: none"> • CpM: que es el ratio de las áreas o volúmenes entre las tolerancias y la región modificada del proceso. • PV: está dada la cercanía entre la meta y la media del proceso • F_{p,m-p}: la distribución F con p y m-p grados de libertad respectivamente • T² = n($\bar{X} - \mu$)'(S)⁻¹($\bar{X} - \mu$) • LI: compara las localizaciones de la región modificada del proceso con las tolerancias. • R₁ y R₂: regiones de tolerancias modificadas y el elipsoide de confianza respectivamente
Índice de Capacidad Multivariado (MCpm)	$MCpm = \frac{vol.(R_1)}{vol.(R_2)}$	

La medición de la capacidad de un proceso desde la perspectiva multivariada puede ser implementada con la función **MPCI** que es una función genérica (Santos Fernández, 2013).

Tarea 3.4.3 Análisis del estado del proceso (capacidad y estabilidad)

Para analizar el estado del proceso se tienen en cuenta los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad (**S_t**) y capacidad del proceso (**C_{pk}**). Este análisis se puede realizar de forma cuantitativa o de forma cualitativa.

El análisis cualitativo toma el resultado cualitativo de los indicadores **S_t** (estable; inestable) y **C_{pk}** (capaz, incapaz) y se clasifica de acuerdo a la tabla 2.9 del [anexo 2.7](#) en (**A, B, C, D**).

Desde el punto de vista cuantitativo se grafican los valores obtenidos de los respectivos indicadores **S_t** y **C_{pk}** en el sistema de coordenadas de la figura 2.2 (anexo 2.7); de acuerdo al área en que caiga el proceso será su clasificación (**A, B, C, D**). Independientemente de la forma que se utilice para determinar el estado del proceso los resultados serán idénticos.

A partir de la clasificación del estado del proceso se determinarán las alternativas para la mejora del proceso de acuerdo a lo establecido en las estrategias de mejora definidas por (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004).

Alternativa 3.4.3.1: Procesos A. Proceso estable y capaz

- Verificar que se tiene un buen sistema de monitoreo del proceso para asegurar que el diagnóstico que se tiene es el adecuado y para detectar oportunamente la ocurrencia de causas especiales que perjudiquen el futuro desempeño del proceso. Enfocar los esfuerzos hacia mejorar la productividad y operabilidad del proceso. Algunas técnicas útiles para esos



propósitos son: superficie de respuesta, análisis de modo y efecto de falla y manufactura esbelta.

Alternativa 3.4.3.2: Procesos B. Proceso capaz pero inestable

- Dar prioridad a la identificación y eliminación de las causas de la inestabilidad: para ello seguir las recomendaciones dadas para el proceso D, sobre todo mejorar la aplicación de cartas de control, para así asegurarse de que es la carta correcta, que se interpreta bien y que se toman las acciones correspondientes. De esta forma se estaría previniendo que la inestabilidad no llegue a afectar la capacidad.

Alternativa 3.4.3.3 Procesos C. Proceso estable pero incapaz

- Mejorar aplicación de cartas de control, para prevenir que empeore el desempeño del proceso y para ver si es posible detectar causas especiales que aparentaban ser comunes.
- Investigar la razón predominante de la baja capacidad (descentrado, exceso de variación, etc.).
- Revisar especificaciones y la calidad de las mediciones.
- Analizar qué ha estado pasando con las variables de entrada que más fuertemente están relacionadas con la variable de salida bajo análisis. También tomar en cuenta los patrones de comportamiento de los puntos en las cartas de control del pasado.
- A partir de lo anterior, generar una lluvia de ideas y establecer conjeturas sobre las causas de la baja capacidad.
- Si este análisis es parte de un proyecto Seis Sigma, aplicar esa metodología. Aplicar los “Ocho pasos en la solución de problemas (ciclo de la calidad)”. En cualquier caso hay que recurrir a las herramientas básicas (por ejemplo, estratificación) para corroborar conjeturas.

Alternativa 3.4.3.4 Procesos D. Proceso inestable e incapaz

Darle prioridad a la identificación y eliminación de las causas de la inestabilidad, y para ello:

- Mejorar uso de cartas de control.
- Estudiar el comportamiento del proceso a través del tiempo, apoyándose en los datos y las cartas de control del pasado y del presente, para así averiguar el tipo de inestabilidad que tiene este proceso, investigar si algunas variables de entrada están relacionadas en forma directa con la variable de salida que tiene el problema: de ser así buscar si el patrón de inestabilidad también se da en tal variable de entrada.
- A partir de todo lo anterior, establecer conjeturas sobre las probables causas de la inestabilidad, y utilizar métodos estadísticos para profundizar la búsqueda y para corroborar



tales conjeturas. Por ejemplo, se pueden hacer análisis estratificados o aplicar adecuadamente diseño de experimentos para investigar conjeturas o aplicar diseño robusto.

- Una vez que se *mejore la estabilidad, volver a evaluar el estado del proceso.*

Paso 3.5 Valoración económica del uso de los gráficos de control (evaluación de los costos relacionados al tipo de inspección; investigación de causas y decisiones posteriores)

El análisis económico asociado a la aplicación y posterior establecimiento de los gráficos de control se realizará atendiendo a dos factores fundamentales.

1. Evaluar los costos relacionados al control de la calidad y el modo de realizarlo. Analizar ¿Qué es más costoso, no inspeccionar, inspeccionar el 100% o inspeccionar por muestreo?
2. Los costos asociados a la probabilidad de adoptar decisiones incorrectas posteriores a la aplicación de los gráficos de control (Evans & Lindsay, 2008).¹

- Si el costo de investigar una operación para identificar la causa de una condición fuera de control aparente es alto, un error tipo I se vuelve importante, y es preciso adoptar límites de control más amplios. Por el contrario, si ese costo es bajo, es necesario seleccionar límites más estrechos.
- Si el costo del producto defectuoso generado por una operación es considerable, un error tipo II es serio y es preciso usar límites de control más estrechos. De lo contrario, se deben seleccionar límites de control más amplios.
- Si las experiencias anteriores con una operación indican que una condición fuera de control se presenta con mucha frecuencia, es necesario seleccionar límites de control más estrechos debido a la gran cantidad de oportunidades de cometer un error tipo II. Cuando la probabilidad de una condición fuera de control es baja, se prefieren los límites más amplios.

Etapas 4: Mejora

Objetivo: desarrollar proceso de mejora que permitan colocar el proceso en control estadístico; permitiendo realizar posteriormente una valoración económica del impacto de las acciones realizadas.

Paso 4.1 Establecer proceso de mejora de acuerdo a las causas señaladas

Una vez conocidos los resultados de la aplicación del control estadístico de procesos, se procede a la implementación de procesos de mejora de acuerdo al estado en que se identificó

¹ Para una mejor comprensión sobre el actuar frente a las causas especiales o comunes generadas por los errores tipo I y II; ver el ejemplo 7.1 Pág. 175 del texto *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)



el proceso; para esto se definirán las acciones de mejora a realizar (revisar las acciones que se desprenden de las alternativas de la clasificación del estado del proceso) los recursos necesarios, responsables y los plazos de ejecución. Como elemento de apoyo a los procesos de mejora se pueden establecer gráficos de precontrol.

Alternativa 4.1.1 Establecimiento de gráficos o cartas de precontrol

Una de las posibles salidas de los procesos de mejora es el establecimiento de los gráficos o cartas de precontrol en procesos controlados por variable con doble especificación en caso de que la capacidad del proceso $C_{pk} > 1.15$. Esta carta es una herramienta para la prevención de cambios en la media y en la dispersión de la característica de calidad monitoreada, que eventualmente llevarían a la producción de defectuosos (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004). Para que esta técnica sea efectiva se deben tener identificadas las variables de ajuste que permiten regresar el proceso a su estado original, lo que no quita la posibilidad de que en algún momento se identifiquen y eliminen otras causas.

Para la operación de este tipo de carta se divide la zona de tolerancia en cuatro partes; las dos partes centrales forman la zona verde (caen el 86.64% de las observaciones), las dos partes de las orillas forman la zona amarilla (caen el 13.08% de las observaciones), y fuera de las especificaciones se localiza la zona roja (caen el 0.28% de las observaciones), el [anexo 2.8](#) muestra la configuración del gráfico de precontrol. Definidas las zonas, el precontrol se divide dos etapas.

- **Etapas de calificación:** el proceso califica cuando se observan al menos cinco unidades consecutivas de la producción en la zona verde, continuando el proceso. De caer en las zonas amarillas o rojas se *investiga*, que significa ajustar, y en ocasiones implica algún otro cambio en el proceso (cambio de herramienta, cambio de operario, etc.), y *reiniciar* implica comenzar otra vez el conteo hasta lograr al menos cinco unidades consecutivas en la zona verde. Ver **Tabla fase de Calificación** anexo 2.8.

- **Etapas de postcalificación:** dependiendo de las zonas donde caen las unidades de la muestra que llevan a parar el proceso, se determina si el cambio de éste fue en la media (zona verde o amarilla cercana a la verde) o en la dispersión (zona roja y amarilla). De acuerdo a la tabla 2.10 en las condiciones 3 y 4 se investigan las causas de ese hecho y/o se ajusta el proceso y se regresa otra vez a la etapa de calificación.

Tabla 2.10. Ejemplo para realizar la etapa de poscalificación para una muestra $n=2$



Condición	Acción correctiva
1. Dos unidades en zona verde	Continuar
2. Una unidad en zona verde y una en amarilla	Continuar
3. Dos unidades en zona amarilla	Parar, investigar y recalificar el proceso
4. Una unidad en zona roja	Parar, investigar y recalificar el proceso

Paso 4.2 Valoración económica del impacto de los planes de mejora (análisis del costo de calidad antes y después de los planes de mejora)

Es importante mantener un estricto control sobre los costos de calidad, sobre todo los relacionados con las no conformidades (reprocesos, desechos, cantidad de defectos, etc.) ya que estas unidades influyen directamente en el estado de control del proceso; de este modo es posible realizar un análisis efectivo del impacto de las acciones adoptadas para mantener o retornar un proceso al estado de control. El resultado de las medidas aplicadas se puede evaluar de acuerdo a los parámetros que muestra la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Acciones a realizar de acuerdo a la evaluación de los costos

Criterio de medida	Evaluación obtenida	Acción a realizar
$C_1 < C_2$	Mala	Realizar un estudio más profundo y diseñar nuevas acciones de mejora que permitan la disminución efectiva de los costos
$C_1 = C_2$	Regular	Se debe revisar el impacto de cada acción individualmente y rediseñar aquellas que no han logrado el impacto esperado. Si es necesario realizar un nuevo estudio y rediseñar las acciones de mejora.
$C_1 > C_2$	Buena	Se deben potenciar las acciones aplicadas, sistematizándolas en el futuro.

C_1 : costo antes de aplicar las acciones de mejora

C_2 : costo después de aplicar las acciones de mejora

2.2 Conclusiones del capítulo

1. Se diseñó una metodología basada en el análisis previo de los enfoques metodológicos existentes, consta de 4 etapas, 2 fases, 14 pasos, 8 tareas, 9 alternativas, 4 variantes y 3 acciones, la cual tiene como objetivo desarrollar las acciones necesarias para la realización de un adecuado control estadístico de procesos.

2. La metodología profundiza elementos débilmente tratados por otros investigadores, haciendo énfasis en los aspectos metrológicos a la hora de seleccionar los métodos e instrumentos de medición y la realización de las mediciones, los elementos económicos en el desempeño del control estadístico de la calidad de procesos, los análisis de estabilidad y capacidad enfocados



a la mejora de los procesos e incluye elementos del control multivariado como uno de los desarrollos más avanzados en el control de la calidad de procesos.

3. La metodología permite abordar diversos tipos de estudios en el control estadístico de la calidad de procesos, independientemente de que el control se realice por variables o por atributos, sean univariados o multivariados; ofreciendo diversas herramientas para enfrentar estos estudios.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN PARCIAL DE LA METODOLOGÍA PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD DE PROCESOS EN LA UEB FÁBRICA DE EQUIPOS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS “26 DE JULIO”

El presente capítulo persigue como objetivo fundamental la aplicación parcial de la metodología para el control estadístico de procesos en la UEB Fábrica Equipos e Implementos Agrícolas “26 de julio”, cuyos principales resultados se muestran a continuación.

3.1 Resultados de la aplicación parcial de la metodología propuesta en la UEB Fábrica de Equipos e implementos Agrícolas “26 de julio”

Etapas 1. Preparatoria

Tal como se describió en la metodología se seleccionó y preparó el equipo de trabajo de acuerdo a los pasos diseñados.

Paso 1.1 Selección del equipo de trabajo

El equipo de trabajo quedo conformado por 7 integrantes, lo cuales fueron seleccionados por su nivel de experiencia, implicación en el control de calidad de los procesos y desarrollo de los procesos productivos; quedando conformado tal como muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Equipo de trabajo

No.	Nombre y Apellido	Cargo	Años de experiencia
1	Ing. Juan González Santiesteban	Esp. Principal Gestión de Calidad UEB	40
2	Téc. Rolando Ramírez Rodríguez	Esp. Principal Gestión de Calidad Empresa	39
3	Téc. Ricardo Góngora Rodríguez	Esp. Gestión de Calidad Taller Tratamiento Térmico.	30
4	Lic. Yanet Cobas Rivera	Esp. Gestión de Calidad Taller Ensamblaje	10
5	Ing. Miriam Beltrán Martínez	Esp Superior Mecánico	35
6	Ing. Elizabeth Pupo Díaz	Esp. Planificación y Control de la Producción	27

Paso 1.2 Preparación y compromiso del equipo de trabajo

Seleccionado el equipo de trabajo se le dio a conocer mediante un programa de capacitación la metodología diseñada, los objetivos y las técnicas a utilizar en cada etapa, pasos, tareas y alternativas, logrando el compromiso con su aplicación.

Etapas 2. Planificación

Objetivo: establecer las bases para el despliegue del control estadístico sobre un proceso o artículo y la característica a controlar de acuerdo al objetivo planteado.



Paso 2.1 Identificación y selección del proceso o artículo y característica(s) a controlar

Capacitado el equipo de trabajo, este procede a la selección del proceso o artículo y característica(s) a controlar. Para esto se analizó el comportamiento del surtido de productos elaborados en el tercer trimestre y los planes de producción del cuarto trimestre del año 2020 (ver tabla A, [anexo 3.1](#)), analizándose el peso de estos en cuanto a unidades físicas a producir, valores en ventas y complejidad del proceso productivo.

El equipo de trabajo se decanta por analizar las producciones de **Piezas de Repuestos**, esta decisión se fundamenta en que los **Equipos** a pesar de representar un valor superior a las producciones de **Piezas de Repuestos**, estos solamente se pueden evaluar por atributos ya que los mismos presentan múltiples características a controlar, los niveles de producción en unidades físicas resultan muy inferior a las piezas de repuesto, además de que varios renglones de las producciones relacionadas a las **Piezas de Repuestos** forman parte de los equipos.

Dentro de las **Piezas de Repuestos** se destacan los productos **semiproducto azada** y **Disco CD 30 R 51** (disco agrícola) como los productos con mayores niveles de producción e ingresos previstos a fabricarse en el cuarto trimestre (ver figuras A1 y A2, [anexo 3.1. A](#)).

El proceso productivo del **semiproducto azada** ([anexo 3.2](#)) se desarrolla en el taller de forja, este taller mantiene un nivel de no conformidades histórico de 1.42% en sus producciones, por lo que el equipo considera evaluar la capacidad y estabilidad del proceso; esta evaluación se realizará por atributos, debido a que este proceso se realiza con productos calientes (más de 500° C) que se estampan y recortan en matrices que entregan un producto homogéneo en sus características y dimensiones ([anexo 3.3](#)).

En el caso del **Disco CD 30 R 51**, el equipo de trabajo a partir del análisis del proceso de producción de los discos agrícolas ([anexo 3.4](#)) y teniendo en cuenta lo establecido en la NC 772:2010 en su apartado 5 *Requisitos de calidad* ("NC 772 2010 Discos agrícolas — especificaciones de calidad,"), selecciona la característica **dureza**, obtenida mediante la operación de **Revenido** en el proceso de **Tratamiento Térmico**. Esta característica al constituir una variable continua se evalúa por variables.

El equipo muestra consenso con estos dos productos ya que ambos constituyen productos estrella en la cartera de productos de la Empresa, por lo que la evaluación de los procesos productivos donde se obtiene las principales características de estos constituye un elemento a tener en cuenta en los procesos de mejora.



Paso 2.2 Definición del sistema de medición

Tarea 2.2.1 Definición del método de medición

El método de medición a utilizar será el método directo, en el caso de la **dureza**. En el caso del **semiproducto azada** será el método indirecto de **comparación directa**, ya que se comparan visualmente las características obtenidas con un patrón establecido.

Tarea 2.2.2 Selección del instrumento de medición

El instrumento para realizar las mediciones de la dureza del disco será un durómetro HRC, el cual tiene un rango de medición de 0 a 100 HRC y el valor de división es de 0.1 HRC, cumpliendo con el nivel de exactitud requerido para la realización de las mediciones. Este instrumento fue calibrado el 6/10/2020 y se encuentra en óptimas condiciones para su utilización.

En el caso del semiproducto azada no se utilizarán instrumentos de medición directamente en su evaluación, ya que esta se realiza evaluando características cualitativas del producto terminado, se debe observar que el producto no presente rebabas pronunciadas, grietas, incrustaciones o deformaciones que afecten su conformidad.

Tarea 2.2.3 Selección del responsable y lugar donde realizar las mediciones

El equipo de trabajo designa al Téc. Ricardo Góngora Rodríguez como responsable de realizar las mediciones de la **dureza** del **Disco CD 30 R 51**, ya que el mismo cuenta con la experiencia y habilidades necesarias para realizar esta operación. El local donde se realizarán las mediciones será en el local destinado para estos fines en el taller de tratamiento térmico.

En el caso del **semiproducto azada** las observaciones se realizarán por los compañeros Ing. Juan González Santiesteban y Lic. Yanet Cobas Rivera en el taller de Forja, durante la ejecución del proceso productivo.

Paso 2.3 Selección de la herramienta a utilizar

Dado que se seleccionaron dos productos a controlar y por métodos diferentes, las técnicas a emplear para la realización del estudio estarán acordes a las características propias de cada variable. En el caso de la característica Dureza, esta es una variable continua, por lo que las herramientas a usar serán los gráficos para variables tipo Shewhart \bar{X} y R (medias y rangos), los histogramas y los índices de capacidad (C_{p^*} , C_{pk^*} , C_{pi^*} , C_{ps^*} , P_{p^*} , Z_c).

En el caso del producto Semiproducto Azada este se evaluará a partir de las no conformidades observadas, por lo que su evaluación es por atributos, utilizando los gráficos para atributos tipo Shewhart p , y np y los índices de capacidad (Z_c , C_{pk} , P_{pk} , Y_c).



Paso 2.4 Definición de la forma de inspección y método para realizar el muestreo

Tarea 2.4.1 Determinar el tipo de inspección

El tipo de inspección a utilizar será por muestreo en el caso del **Disco CD 30 R 51**, y en el caso de la azada se realizará inspección al 100%, ya que esta inspección es visual y es posible detectar las no conformidades en cada operación.

Tarea 2.4.2 Determinar el tamaño de la muestra y su frecuencia de control

Para la característica **dureza** del **Disco CD 30 R 51**, la cual se controlará por variables se definió una muestra de 20 subgrupos de 4 unidades cada uno, con el objetivo de facilitar los cálculos. La frecuencia de control se estableció cada 40 discos se toman 4 unidades a comprobar.

En el caso del **semiproducto azada**, que se controlará por atributos, se realizará muestreo al 100% de los lotes en un total de 21 muestras. Los lotes de producción entran en cantidades de 350 unidades al proceso productivo.

Paso 2.5 Definir el formato para registro de los datos

Para el registro de los datos relacionados con la característica **dureza**, se adoptó el modelo propuesto en el [anexo 2.4](#), ya que facilita el registro de los datos y su posterior tratamiento.

Para el **semiproducto azada** se estableció una tabla donde se registraron los lotes de producción y las no conformidades observadas por operaciones, de acuerdo al proceso productivo.

Etapas 3. Implementación

Objetivo: llevar a cabo las acciones prácticas del control estadístico, con la realización de las mediciones, construcción de los gráficos y el análisis del estado del proceso para la generación de alternativas para el mejoramiento de los procesos.

Fase 3.1 Ejecución

En esta fase se realizarán las acciones relacionadas con las mediciones y revisión de los datos para los posteriores análisis.

Paso 3.1 Realización y registro de las mediciones

Los datos observados para la característica **dureza** se muestran en el [anexo 3.5](#) y los relacionados al **semiproducto azada** en el [anexo 3.6](#).

Paso 3.2 Verificación de la condición de normalidad

Dado que la característica **dureza** es la única que clasifica como variable continua se verifica que los datos registrados siguen una distribución normal. Para este análisis se utilizó el software STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14.



Acción 3.2.1 Análisis exploratorio de los datos

En el análisis exploratorio de los datos no se observan datos atípicos, lo que indica que no ha habido errores en el registro de los datos o causas especiales que hayan generado datos atípicos, el [anexo 3.7](#) muestra el diagrama de tallo y hoja y el gráfico de caja y bigote que corrobora esta situación.

Alternativa 3.2.1: se cumple la condición de normalidad

De acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov se cumple la condición de normalidad; por lo que se continúa el estudio. Figura 3.1.

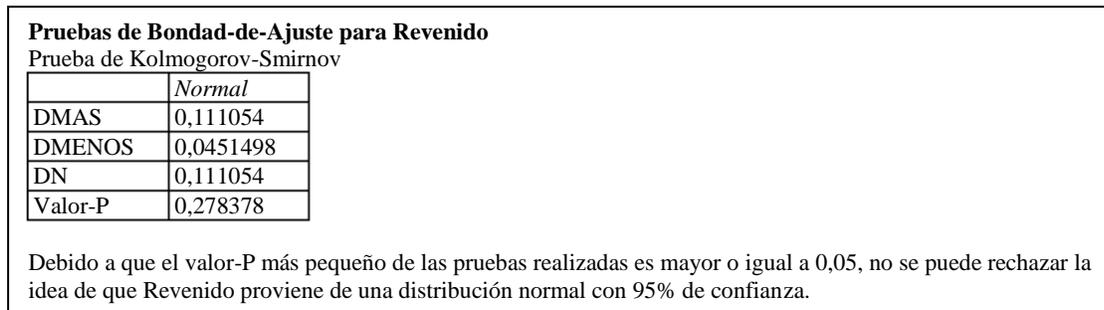
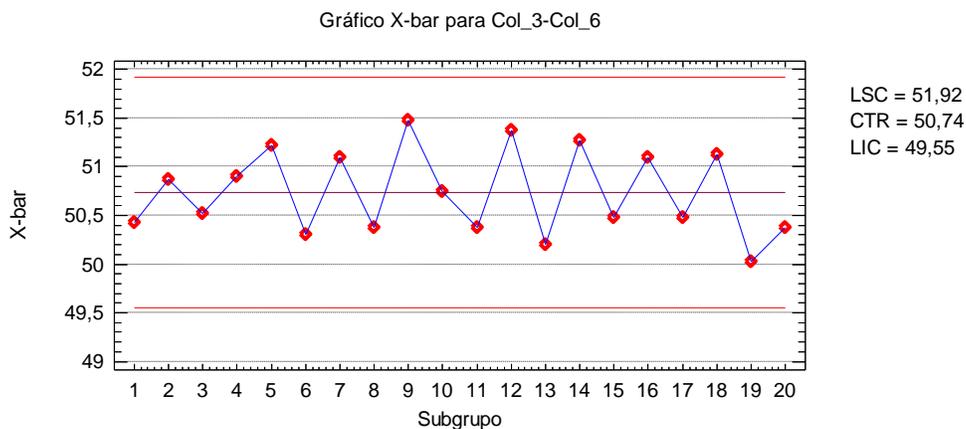


Figura 3.1. Informe del STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14.

Paso 3.3 Construcción de los gráficos

Para la construcción de los gráficos se utilizó del software STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14, en el caso de la característica **dureza** se construyeron los gráficos \bar{X} y R . Figura 3.2.



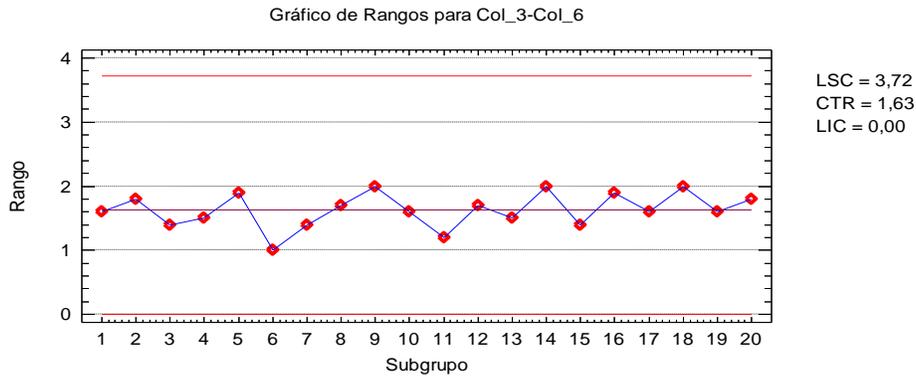


Figura 3.2. Gráficos \bar{X} y R de la característica dureza en la operación de revenido del producto Disco CD 30 R 51.

Para el semiproducto azada se confeccionó el gráfico p, np . Figura 3.3.

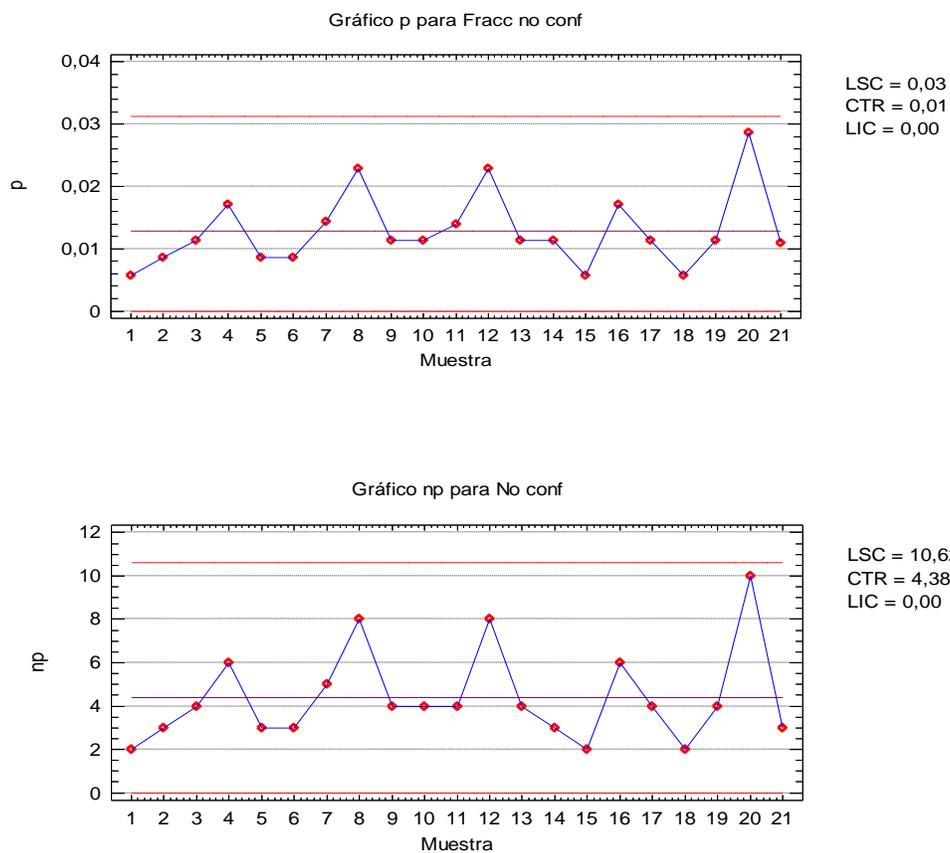


Figura 3.2. Gráficos p y np del semiproducto azada

Fase 3.2 Evaluación

Paso 3.4 Análisis del estado del proceso (estabilidad y capacidad)

Tarea 3.4.1: Análisis de la estabilidad del proceso

Acción 3.4.1.1: Análisis del comportamiento del gráfico

Al analizar el comportamiento del gráfico correspondiente al proceso de tratamiento térmico en la operación de **revenido** en el **Disco CD 30 R 51**, se observa que el mismo mantiene un comportamiento aleatorio, sin que se destaquen patrones o puntos que indiquen la presencia de causas especiales.

En el caso del proceso de forja, tanto en el gráfico p como np se observa que un comportamiento formado por ciclos, al observarse un patrón formado por valles y crestas repetido periódicamente, los puntos 8; 12; 16 y 20 están precedidos de valles.

Acción 3.4.1.2: Cálculo de la estabilidad del proceso

Del análisis del gráfico correspondiente a la característica **dureza** (\bar{X}), de los 20 puntos ploteados, no se observan puntos que generen patrones que indique inestabilidad en el comportamiento del proceso, por lo que el índice $S_t = 0$, al comparar este resultado con lo establecido en la tabla 2.6 se concluye que se está ante un proceso estable.

En el caso del proceso de forja, de acuerdo al análisis del comportamiento del gráfico, se observan 4 puntos especiales de los 21 que se plotearon, calculando S_t se obtiene:

$$S_t = \frac{\text{Número de puntos especiales}}{\text{Total de puntos graficados}} * 100$$

$$S_t = \frac{4}{21} * 100$$

$$S_t = 19.05\%$$

De acuerdo a la tabla 2.6 y al valor obtenido de 19.05% el proceso de forja se califica como inestable.

Tarea 3.4.2 Análisis de la capacidad del proceso

Alternativa 3.4.2.1 Estudio de capacidad para procesos controlados por atributo

Para determinar la capacidad del proceso de forja se utiliza la **variante 3.4.2.1.2**.

Variante 3.1.2.1.2 Estudio de capacidad para procesos en línea (evaluación de varias operaciones en línea)

De acuerdo al proceso productivo del **semiproducto azada** se registraron las no conformidades observadas en cada operación del proceso (anexo 3.6), resumiéndose en la tabla 3.2. Para una mejor interpretación del comportamiento del proceso se graficó el mismo, [anexo 3.8](#).

Tabla 3.2. Rendimiento por operaciones y acumulado.



Conceptos	No conformidades por operación			
	Corte Palanquilla	Calentamiento	Estampado	Recorte
	1	2	3	4
Unidades que pasan a la siguiente operación	7107	7107	7089	7035
Unidades inspeccionadas	7127	7107	7107	7089
Rendimiento individual (Y_i)	0,9972	1,0000	0,9975	0,9924
Rendimiento Acumulado (Y_C)	0,9972	0,9972	0,9947	0,9871

El comportamiento del Rendimiento Acumulado (Y_C) es de 0.9871, conocido este valor se calculan los índices C_{pk} y P_{pk} . Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Calculo de los índices C_{pk} y P_{pk}

Pasos para el cálculo de los índices C_{pk} y P_{pk}	Ecuación	Resultado
Rendimiento promedio normalizado (Y_{PN})	$Y_{PN} = (Y_C)^{1/k}$	$Y_{PN} = (0.9871)^{1/4}$ $Y_{PN} = 0.9967$
Niveles de Sigma (Z_C)	$Z_{ct} = Z_{Y_{PN}} + \Delta\sigma_e$	$P(Z_{Y_{PN}}) = Y_{PN}$ $Z_{Y_{PN}} = 2.72$ $Z_{ct} = 2.72 + 1.5$ $Z_{ct} = 4.22$
Índice de capacidad de corto Plazo (C_{pk})	$C_{pk} = \frac{Z_{ct}}{3}$	$C_{pk} = \frac{Z_{ct}}{3} = \frac{4.22}{3}$ $C_{pk} = 1.407$
Índice de capacidad de Largo Plazo (P_{pk})	$P_{pk} = \frac{Z_{lt}}{3}$	$P_{pk} = \frac{Z_{lt}}{3} = \frac{2.72}{3}$ $P_{pk} = 0.907$

De acuerdo lo observado en el comportamiento del índice $C_{pk} = 1.407$ se deduce que el proceso de forja es un proceso adecuado, de acuerdo a las claves que se dan en el anexo 2.56, pero se debe tener en cuenta que la operación de **Recorte** es la de más bajo rendimiento con un **99,24%** de efectividad.

Alternativa 3.4.2.2 Análisis de la capacidad del proceso controlados por variables

Dado que al proceso de revenido solo se evalúa una característica se calculan los índices de capacidad de este proceso por la variante 3.4.2.2.1

Variante 3.4.2.2.1 Estudio de capacidad para procesos univariados

Para los análisis de capacidad del proceso de tratamiento térmico en la operación de revenido en el **Disco CD 30 R 51** se utilizó el software STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14. El [anexo 3.9](#) muestra un cuadro resumen de los resultados de los índices de capacidad para este proceso.

De acuerdo al valor observado de $C_{pk} = 1.3408$ se deduce que la capacidad del proceso de tratamiento térmico en la operación de temple es adecuada, de acuerdo a la clasificación que



se da en el anexo 2.6, al cumplir con el parámetro establecido en la NC 772 Discos agrícolas — especificaciones de calidad.

Tarea 3.4.3 Análisis del estado del proceso (capacidad y estabilidad)

De acuerdo a los valores de los índices S_t y C_{PK} calculado para cada producto se establece el estado de cada proceso (tabla 3.4, figura 3.2)

Tabla 3.4. Clasificación del estado del proceso

Productos a controlar	Proceso	Estabilidad (S_t)	Capacidad (C_{PK})	Estado del Proceso
Semiproducto Azada (♦)	Forja	19.5 (inestable)	1.407 (capaz)	Proceso B (Inestable pero Capaz)
Disco Agrícola (♦)	Tratamiento Térmico (Revenido)	0 (estable)	1.3408 (capaz)	Proceso A (Estable y Capaz)

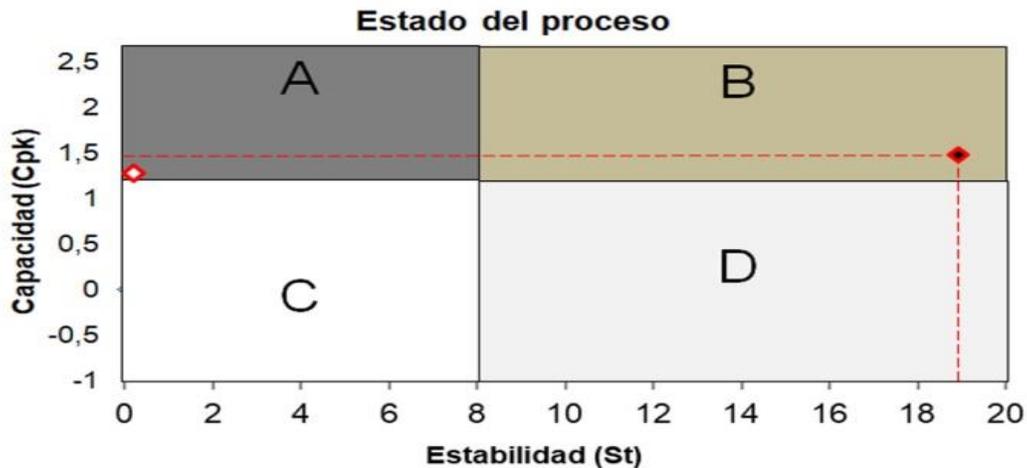


Figura. 3.2. Gráfico del estado de los procesos.

Determinado el estado de cada proceso se selecciona la alternativa correspondiente para establecer los procesos de mejora

Alternativa 3.4.3.1: Procesos A. Proceso estable y capaz

El proceso de **tratamiento térmico (revenido)**, correspondiente a la característica **Dureza** del **disco CD 30 R 51**, a pesar de que se determinó como estable y capaz, requiere de pequeños ajustes que permitan mantener esta condición.

- Implementar el modelo del anexo 2.4 para un mejor registro y posterior análisis de las mediciones.

- Desplegar estudios de estabilidad y capacidad regularmente, al menos trimestralmente; estudiando otros productos que reciban esta misma operación (**revenido**) u otra que permita su realización.
- Profundizar en los estudios de capacidad con vistas a mejorar los índices obtenidos, logrando producciones esbeltas (6 sigma).

Alternativa 3.4.3.2: Procesos B. Proceso capaz pero inestable

En esta clasificación se identificó al proceso de **Forja**, correspondiente al **Semiproducto Azada** que a pesar de catalogarse como capaz este proceso es muy inestable. De acuerdo a los análisis realizados se deben realizar las siguientes acciones para lograr que este proceso sea estable.

- Identificar las causas que generan la inestabilidad para su eliminación o atenuación (diagrama causa efecto, [anexo 3.10](#)).
- Determinar y establecer el límite superior para reacondicionar la estampa del recortado.
- Desarrollar proyectos de inversión para devolver el ajuste a las maquinas herramientas del taller de forja.
- Establecer acciones en el control de la calidad que desarrollen estudios periódicos de capacidad y estabilidad, contribuyendo de este modo al desarrollo de acciones mejora.

3.2 Conclusiones del capítulo

1. Se logró la aplicación parcial de la Metodología para el control estadístico de la calidad de procesos en la UEB “26 de julio”,
2. A partir de los productos seleccionados y las características evaluadas se determinó el estado de los procesos y las acciones para la mejora de los mismos,
3. Se constató la vigencia del control estadístico de la calidad de procesos como una de las más útiles herramienta para el control de la calidad, los análisis de variabilidad, la detección de causas y el mejoramiento de procesos y métodos de control.



CONCLUSIONES

1. La consulta de la bibliografía y la elaboración del marco teórico práctico referencial de la investigación, permitieron corroborar la utilidad del control estadístico de la calidad de procesos como una poderosa herramienta para el análisis de la variabilidad de procesos, la modificación de sus especificaciones y métodos de producción entre otros usos; a partir de un abanico de herramientas que facilitan su uso y vigencia, contribuyendo a mejorar la efectividad del sistema de control de la calidad.
2. El análisis metodológico realizado demostró que aún quedan brechas donde profundizar en el estudio y desarrollo del control estadístico de la calidad de procesos, observándose débilmente tratadas las variables Análisis Multivariados, Aspectos Metrológicos, Análisis de Estabilidad y los Análisis Económicos asociados a la aplicación del control estadístico de la calidad de procesos.
3. La metodología diseñada para del control estadístico de la calidad de procesos profundizó en la aplicación de las variables Análisis Multivariados, Aspectos Metrológicos, Análisis de Estabilidad y los Análisis Económicos, permitiendo abordar diversos tipos de estudios en el control estadístico de la calidad de procesos, independientemente de que el control se realice por variables o por atributos, sean univariados o multivariados.
4. La aplicación parcial de la metodología en la UEB “26 de julio” logró establecer el compromiso de los técnicos que participaron en su aplicación, demostrando su efectividad al conocer el estado de los procesos evaluados y establecer medidas para el mejoramiento de estos.



RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las conclusiones de la investigación referidas anteriormente se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Promover la aplicación de la metodología diseñada en otros procesos y organizaciones, favoreciendo su empleo total y el despliegue de otras herramientas que se refieren en la misma y no fueron utilizadas en esta aplicación.
2. Considerar los resultados obtenidos por sus aportes teóricos y metodológicos en cuanto al control estadístico de procesos y tenerlos en cuenta como elementos a tratar en la enseñanza de pregrado y postgrado.
3. Profundizar los estudios relacionados con el uso y aplicación de los gráficos multivariados, así como los análisis económicos relacionados al empleo de los gráficos de control y las decisiones posteriores vinculadas con los tipos de errores que se cometen en su aplicación.
4. Socializar los resultados obtenidos tanto dentro de la organización objeto de estudio como en la comunidad científica y empresarial mediante la participación en eventos y publicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro Navarro, J. L. (2005). *Control Estadístico de la Calidad en Procesos Multivariantes Autocorrelacionados. Una Aplicación en la Industria Cuchillera de Albacete*. (Tesis Doctoral).
- Almeida Consuegra, Y. (2013). *Establecimiento de un programa de control para el proceso de producción Buje Porta LEED del Taller 25 de la EMI Ernesto Che Guevara*. (Ingeniero Industrial Trabajo de Diploma).
- Allen, T. T. (2010). *Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma* (Second Edition ed.): Springer.
- Busutil Sosa, Y. (2006). *Ingeniería de la calidad para las producciones biofarmaceuticas comerciales del CIM*. (Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Calidad Total).
- Capote Suárez, Y. (2009). *Evaluación de la estabilidad y el control estadístico en los procesos de la cadena de suministros de los almacenes de medicamentos Villa Clara*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Constitucion de la Republica de Cuba (2019).
- Deming, W. E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Dionisio Reyes, Y. J. (2014). *Control Estadístico de la calidad aplicado al programa de extensión social de ESSALUD, caso: préstamos bancarios a sus trabajadores. Periodo 2006-2009*. (Para optar el título profesional de Licenciado en Estadística).
- Documentos del 7mo. Congreso del Partido aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017 y respaldados por la Asamblea Nacional del Poder Popular el 1 de junio de 2017 (I) (2017).
- Echemendia Gómez, J. (2016). *Contribución al análisis multivariado de la Calidad en el control estadístico de los procesos de construcción civil. Aplicación a la brigada cuentapropista "Construcciones El Progreso"*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). *Administración y control de la calidad* (7a. edición ed.): Cengage Learning.
- Feigenbaum, A. V. (1971). *Control total de la calidad*. La Habana: Ediciones Revolucionarias, Instituto Cubano del Libro.
- Fermín, J. S., Valdiviezo, M., Orlandoni, G., & Barreto, S. (2009). Control estadístico de procesos multivariantes en la industria Alimentaria: implementación a través del estadístico t2-hotelling. *SciELO Agroalimentaria, Agroalim v.15(n.28)*.
- Grant, E. L. (1974). *Control de Calidad Estadístico* (Tercera ed.): Compañía Editorial Continental, S.A.
- Guerra Bustillo, C., & Otros. (2003). *Estadística: "Felix Varela"*.
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *CALIDAD TOTAL Y PRODUCTIVIDAD* (Tercera edición ed.): McGraw-Hill.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*: McGraw-Hill.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera edición ed.): McGRAW-HILL.



- Hernández Pedrera, C., & Da Silva Portofilipell, F. (2016). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad. *SciELO Analytics, RTQ vol.36 no.1*.
- Hernández Vázquez, E. G. (2009). *Aplicación del Control Estadístico a la Variable Crítica "Temperatura" en una Empresa Acerera*. (Tesis en opción al grado de Máster en Administración y de Negocios con especialidad en producción y calidad).
- Hidalgo Díaz, M. (2019). *Procedimiento para el control estadístico de la calidad en la empresa de cigarros "Lazaro Peña"*. (Tesis presentada en opción al grado científico de master en ciencias.).
- Juran, J. M. (1999). *JURAN'S QUALITY HANDBOOK* (Fifth Edition ed.): McGraw-Hill.
- Jurán, J. M. (1986). *The Quality Trilogy. A universal approach to managing for quality*. California: ASQC 40 th Annual Quality Congress in Anaheim.
- M., L. F., J., L. L. E., & Moreno Pino, M. R. (2015). *Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001: 2015 ¿Qué y cómo hacer? Contexto de la organización y Liderazgo: CONCIENCIA*.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (Seventh Edition ed.): John Wiley & Sons, Inc.
- NC-ISO 2859-1: Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos — parte 1: planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el límite de calidad de aceptación (LCA).
- NC 772 2010 Discos agrícolas — especificaciones de calidad, NC 772 C.F.R.
- NC ISO 8258: 2002 Gráficos de control de shewhart, NC ISO 8258: 2002 C.F.R.
- NC ISO 9000: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — fundamentos y vocabulario, NC ISO 9000: 2015 C.F.R.
- NC ISO 9001: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — requisitos, NC ISO 9001: 2015 C.F.R.
- Ramírez Méndez, E. (2011). *Control Estadístico de Procesos por atributos: Caso ZF Sachs*. (Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Industrial y de Manufactura).
- Ramos Domínguez, B. N. (2004). *Control de calidad de la atención de salud*: Editorial Ciencias Médicas.
- Ramos Lage, Y. (2012). *Análisis del sistema de control de la calidad en la producción de FitoMas*. (Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial).
- Ricardo Torres, I. (2019). *Metodología para la planificación y ejecución del control estadístico de la calidad del proceso. aplicación en el Taller de Maquinado de la Unidad Empresarial de Base Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio"*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Rodríguez Vignon, Y. (2020). *Metodología para el control estadístico de la calidad en el proceso de cunas infantiles de la UEB Muebles Imperio*. (esis presentada en opción al grado científico de master en ciencias.).
- Romero Vega, L. E., Valdés Luna, L. C., Pastor de Moya, J. G., & Herrera Acosta, R. J. (2018). Control estadístico para el monitoreo del proceso de corte de pastillas de jabón. *SciELO Ingeniería y Desarrollo, vol.36 (no.2)*.



- Santana Tamayo, I. (2017). *Metodología para el control y mejora de la calidad en el sector no estatal de la transformación del plástico*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Santos Fernández, E. (2013). *Contribución al Control Estadístico de Procesos Multivariado usando R*. (Tesis en opción al título académico de Master en Ingeniería Industrial Mención Calidad.).

ANEXOS

Anexo 1.1 Gráficos de control más empleados

Carta	Propósito	Uso	Tamaño de subgrupo, n	Consideraciones adicionales
Media \bar{X}	Analiza las medias de subgrupos como una forma de detectar cambios en el promedio del proceso. Aunque la carta está inspirada en la distribución normal, funciona bien para otras funciones debido al teorema central del límite.	Procesos masivos (de mediano a alto volumen), donde en un corto tiempo se producen varios artículos y/o mediciones.	$n > 3$ A medida que n crece la carta detecta incluso pequeños cambios en el proceso. Por ello, generalmente un tamaño de n menor que 10 es suficiente para detectar cambios moderados y grandes, que son los de mayor interés en la práctica.	Los límites de control indican dónde se espera que varíen las medias de los subgrupos, por lo que no indican dónde varían las mediciones individuales, y no tienen nada que ver con las especificaciones.
Rango (R)	Analiza los rangos de los subgrupos como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n < 11$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso que tal carta.	$3 < n < 11$ A medida que n crece es capaz de detectar cambios más pequeños en la amplitud de la dispersión del proceso.	Es importante utilizarla junto con una carta \bar{X} . De los criterios para cambios de nivel, sólo utilizar el de puntos fuera de los límites.
Desviación estándar (S)	Analiza la desviación estándar que se calcula a cada subgrupo, como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n > 10$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso que tal carta.	$n > 10$ Dado el tamaño de subgrupo recomendado. Usarla sólo cuando se quieren detectar incluso pequeños cambios en la dispersión del proceso y se esté dispuesto a atender estos cambios.	Tanto la carta \bar{X} como ésta, tienen una mayor sensibilidad cuando n crece, usarlas cuando se quiere y se esté dispuesto a tener un control estricto sobre el proceso. De los criterios para cambios de nivel, sólo utilizar el de puntos fuera de los límites.
Individuales (X)	Analiza cada medición individual del proceso y detecta cambios grandes tanto en la media como en la amplitud de la dispersión. Si la distribución no es normal, la carta puede resultar bastante afectada.	Procesos de bajo volumen, donde se requiere un tiempo considerable (de una a más horas) para obtener un resultado o medición. También cuando mediciones cercanas en el tiempo sólo difieren por <i>error</i> de medición.	Por propósito $n = 1$	Si en estos procesos es importante detectar cambios más pequeños y medianos, se recomienda utilizar otra carta más sensible (EWMA o CUSUM, vea el capítulo siguiente).

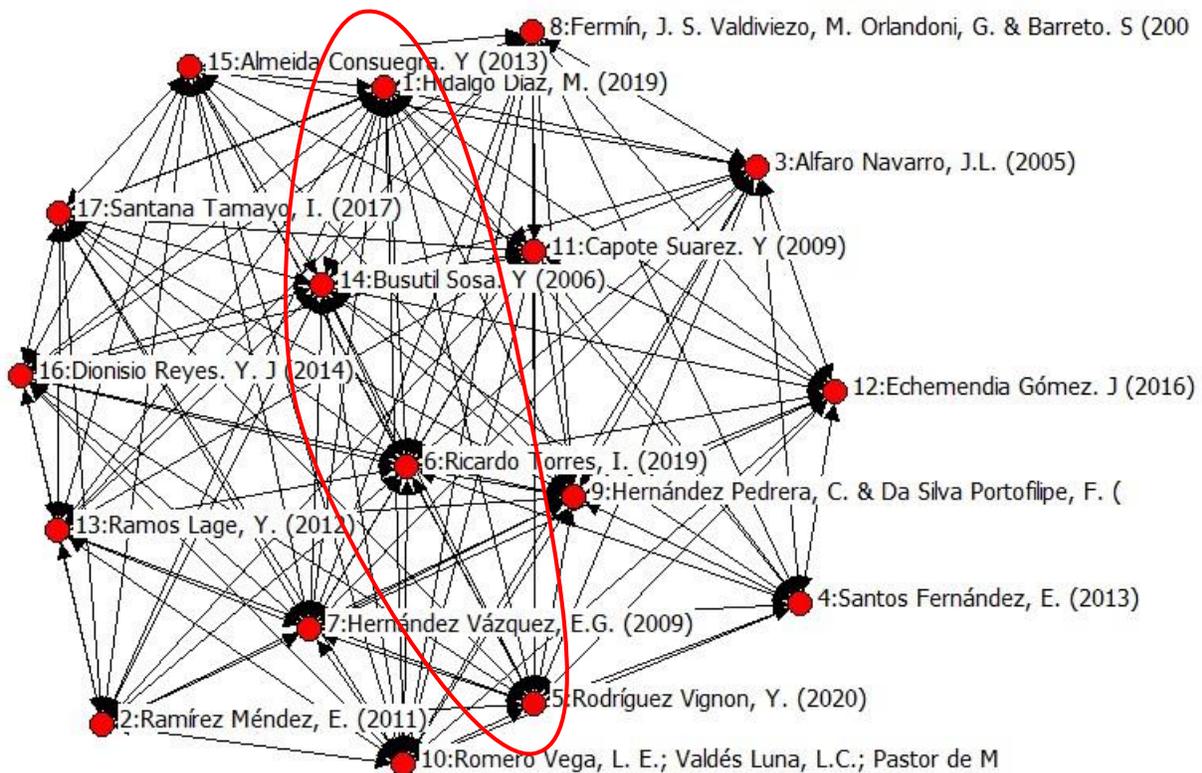
Fuente: Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera edición ed.): McGRAW-HILL.

Carta	Propósito	Uso	Tamaño de subgrupo, n	Consideraciones adicionales
Proporción de defectuosos (p)	Analizar la proporción de artículos defectuosos por subgrupo (unidades rechazadas/ unidades inspeccionadas). Se supone una distribución binomial, que se puede aproximar bien por una normal.	Por lo general es utilizada para reportar resultados en puntos de inspección, donde una o más características de calidad son evaluadas, y en función de esto el artículo es aceptado o rechazado.	El valor de n puede ser constante o variable, pero suficientemente grande para tener una alta probabilidad de que en cada subgrupo se detecte por lo menos una pieza defectuosa. Esto se logra tomando a n tal que $n > 9 \left[\frac{1-\bar{p}}{\bar{p}} \right]$	No es adecuada si n es mucho más pequeño que el valor recomendado. Para n muy grande, de uno o varios miles, los límites de control estarán muy estrechos; por lo tanto, es mejor graficar la proporción en una carta de individuales. Si n es muy variable de un subgrupo a otro (más de 25%), se debe utilizar una carta estandarizada o una con límites variables.
Número de defectuosos (np)	Monitorea el número de unidades defectuosas por subgrupo (número de artículos rechazados por cada muestra inspeccionada). Se supone una distribución binomial, que se puede aproximar bien por una normal.	Se aplica en la misma situación que la carta p , pero con el tamaño de subgrupo constante. Es más fácil graficar los puntos en la carta al estar trabajando con números enteros.	El valor de n debe ser constante y en cuanto a su tamaño se aplican los mismos criterios que en la carta p .	Aplican las dos primeras observaciones para la carta p . Cuando n crece, la sensibilidad o potencial de la carta para detectar cambios es mayor.
Número de defectos por subgrupo (c)	Analiza el número de defectos por subgrupo o unidad, ésta puede ser un artículo o un lote, una medida de longitud o de tiempo, una medida de área o volumen. Se supone una distribución de Poisson, razonablemente simétrica.	Uno de sus usos es en puntos de inspección, donde se busca localizar uno o más tipos de defectos relativamente menores, de tal forma que aunque se encuentren defectos, el artículo no se rechaza. También se usa para variables como número de quejas, de errores, de paros, de clientes, etcétera.	El tamaño de subgrupo o unidad es constante. De ser posible se elige de tal forma que el número promedio de defectos por subgrupo (línea central) sea mayor que nueve.	Si en cada subgrupo se esperan cero o muy pocos defectos, mucho menos que nueve, usualmente la carta no es efectiva. En esos casos, se debe buscar un incremento en el tamaño de subgrupo u otras alternativas.
Número promedio de defectos por unidad (\bar{u})	Monitorea el número promedio de defectos por artículo o unidad inspeccionada. Se supone una distribución de Poisson.	Igual que la carta c , pero aquí se prefiere analizar el número promedio de defectos por artículo o unidad, en lugar del número de defectos por subgrupo.	El tamaño de subgrupo puede ser constante o variable, pero siempre está conformado por varias unidades de referencia o artículos. Buscar que n cumpla que $n > \frac{9}{\bar{u}}$	Si n es mucho menor que el número recomendado, la carta u suele no ser útil. En esos casos, buscar incrementar n , o utilizar otra carta de control.

Fuente: Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera edición ed.): McGRAW-HILL.

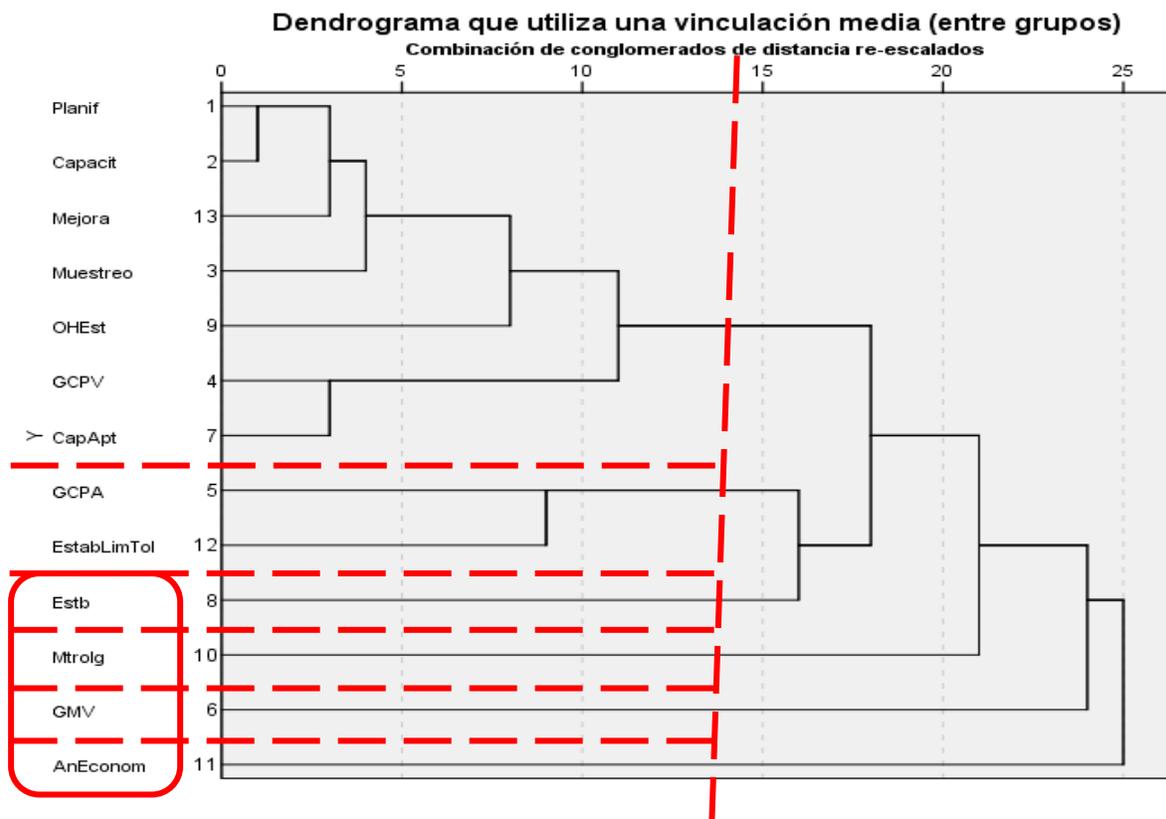
Anexo 1.2 Centralidad de los autores

	1	2	3
	Degree	NrmDegree	Share
14 14:Busutíl Sosa. Y (2006)	6.194	38.713	0.077
5 5:Rodríguez Vignon, Y. (2020)	6.128	38.300	0.076
6 6:Ricardo Torres, I. (2019)	6.022	37.638	0.075
1 1:Hidalgo Diaz, M. (2019)	5.965	37.281	0.074
7 7:Hernández Vázquez, E.G. (2009)	5.574	34.838	0.069
9 9:Hernández Pedrera, C. & Da Silva Portofilipe, F. (5.370	33.563	0.067
17 17:Santana Tamayo, I. (2017)	5.189	32.431	0.065
15 15:Almeida Consuegra. Y (2013)	5.000	31.250	0.062
10 10:Romero Vega, L. E.; Valdés Luna, L.C.; Pastor de M	4.876	30.475	0.061
16 16:Dionisio Reyes. Y. J (2014)	4.527	28.294	0.056
11 11:Capote Suarez. Y (2009)	4.458	27.863	0.055
13 13:Ramos Lage, Y. (2012)	4.125	25.781	0.051
3 3:Alfaro Navarro, J.L. (2005)	4.040	25.250	0.050
8 8:Fermin, J. S. Valdiviezo, M. Orlandoni, G. & Barreto. S (200	3.953	24.706	0.049
4 4:Santos Fernández, E. (2013)	3.157	19.731	0.039
12 12:Echemendia Gómez. J (2016)	3.157	19.731	0.039
2 2:Ramírez Méndez, E. (2011)	2.695	16.844	0.034

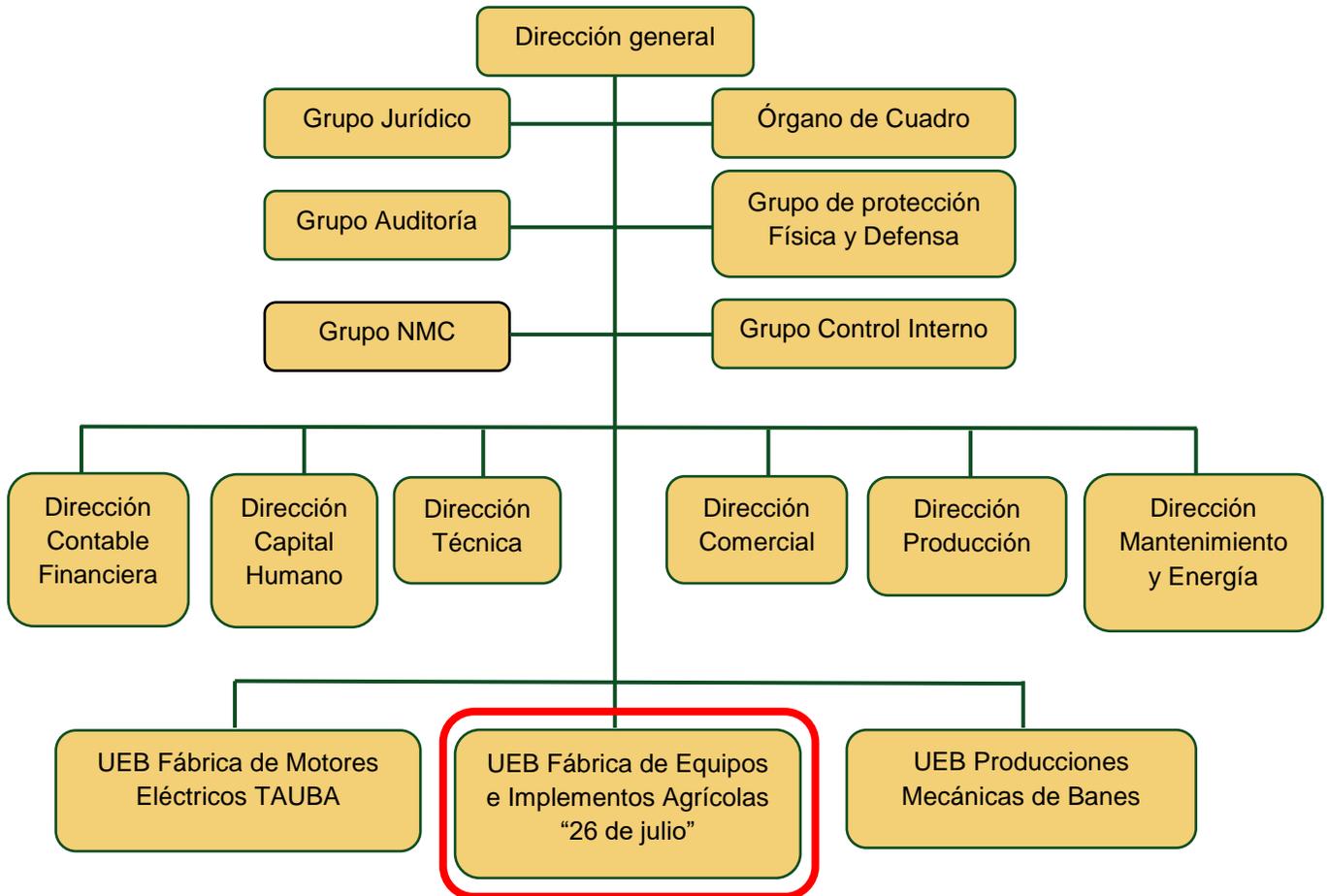


Anexo 1.3 Análisis de variables

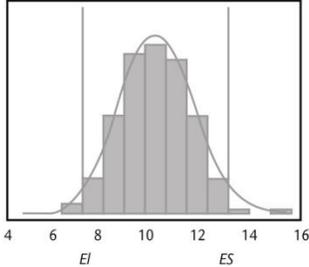
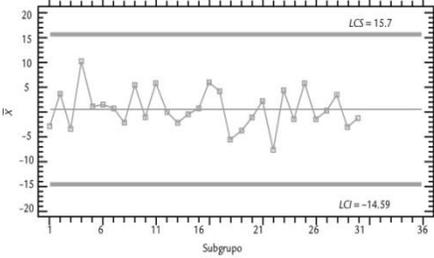
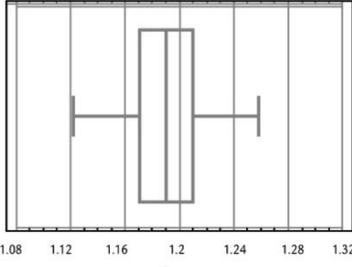
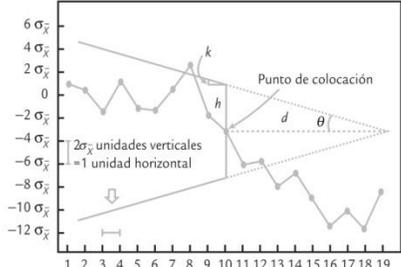
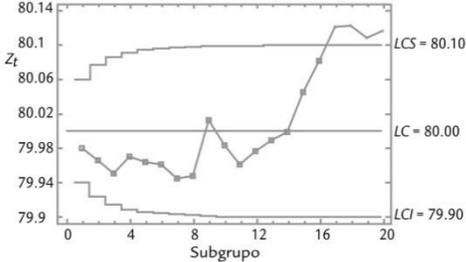
		1	2	3
		Degree	NrmDegree	Share
1	Planif	4.316	59.944	0.117
13	Mejora	4.231	58.764	0.114
3	Muestreo	3.977	55.236	0.107
2	Capacit	3.874	53.806	0.105
7	CapApt	3.674	51.028	0.099
4	GCPV	3.335	46.319	0.090
9	OHEst	2.986	41.472	0.081
5	GCPA	2.951	40.986	0.080
12	EstabLimTol	2.563	35.597	0.069
8	Estb	1.582	21.972	0.043
10	Mtrolg	1.547	21.486	0.042
6	GMV	1.200	16.667	0.032
11	AnEconom	0.806	11.194	0.022

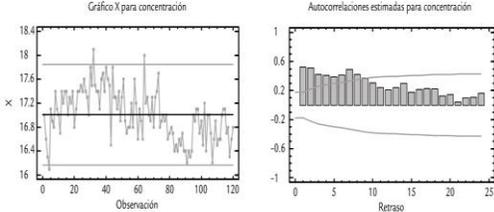
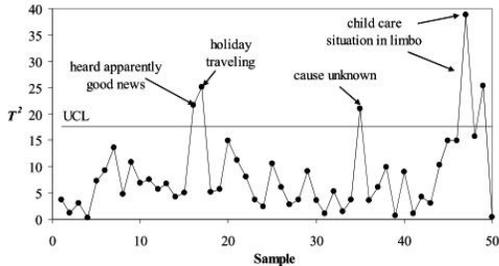
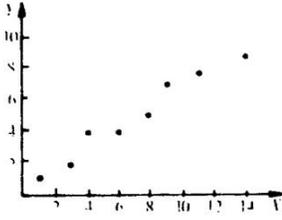


Anexo 1.4 Organigrama



Anexo 2.1. Técnicas utilizadas para el control estadístico de la calidad de procesos

Técnica	Forma del gráfico	Referencia bibliográfica
Histogramas		(H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 2)
Gráficos tipo Shewhart para variables (\bar{X} , R , S y X) y para atributos (p , $100p$, np , c , u y du)		(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 8)
Gráfico de caja y bigote.		(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 2)
Carta CUSUM (sumas acumuladas)		Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 9)
Carta EWMA (por sus siglas en inglés: Exponentially Weighted Moving-Average)		<ul style="list-style-type: none"> • (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 9) • (Allen, 2010) (Capítulo 8)

<p>Carta ARIMA (autorregresivos, integrados , medias móviles)</p>		<p>(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013) (Capítulo 9)</p>
<p>Gráfico de control de Hotelling's (T^2)</p>		<p>(Allen, 2010) (Capítulo 8)</p>
<p>Análisis de correlación</p>		<p>(Guerra Bustillo & Otros, 2003) (Capítulo 8)</p>
<p>ANOVA</p>	<p>El Análisis de Varianza permite el estudio de las características medidas u observadas, cuyos valores dependen de varias clases de efectos que operan simultáneamente, y mediante este análisis poder decidir si tales efectos son o no diferentes.</p>	<p>(Guerra Bustillo & Otros, 2003) (Capítulo 10)</p>

Nota: Los gráficos han sido tomados de las referencias descritas.

Anexo 2.2 Claves para establecer la forma de inspección.

Atributo	Variable
Se emplea para características cualitativas o en características cuantitativas (medibles) que se expresan en forma cualitativa mediante la comparación con un calibre o patrón.	Se emplea para características cuantitativas que pueden tomar cualquier valor al ser registradas utilizando algún medio de medición.
Las unidades se consideran defectuosas o no observando una o más características, puede también registrarse el número de defectos por unidad.	Solo se puede aplicar para inspeccionar una característica de calidad.
Generalmente es más económico, los gastos de administración, computación, inspección son menores que en variable.	Implica mayores gastos administrativos, de muestreo y computación.
El procedimiento de inspección es simple, solo decidir si el producto cumple o no las especificaciones.	El procedimiento de inspección es más complejo, se necesita medir la característica con un medio de medición.
No es necesario hacer cálculos para obtener los resultados de la inspección y el procedimiento para tomar las decisiones es simple.	En ocasiones es necesario hacer cálculos para obtener los resultados de la inspección.
No es necesario que la distribución de la característica sea normal.	Es necesario que la característica siga una distribución normal.
Requiere tamaño de muestras mayores.	Menor tamaño de muestra.
Brinda menos información por la forma en que la refleja.	Brinda mayor información sin la característica (media y desviación típica).

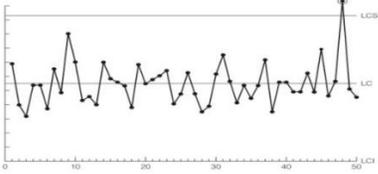
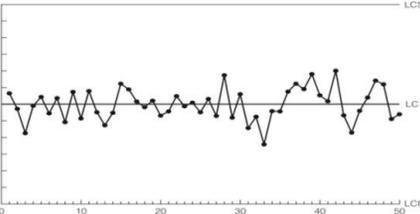
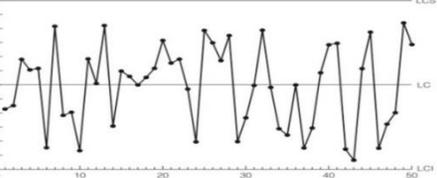
Anexo 2.3 Modelo para el registro de las observaciones para grafico por variables

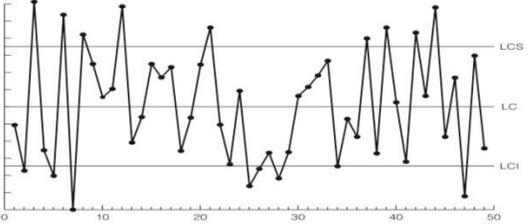
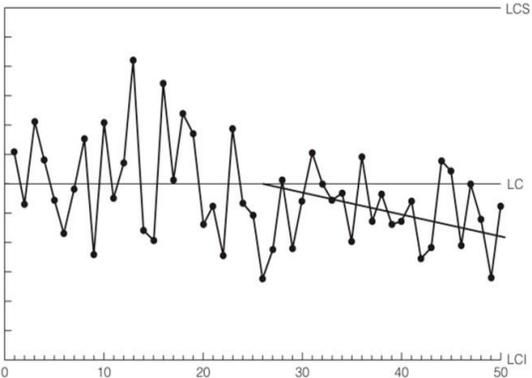
Código:		Denominación:																		D	M	A			
Operación:		Parámetro a controlar:																							
Operario:										Máquina Herramienta:															
Subgrupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Hora																									
OBSERVACIONES	1																								
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								
SUMA																									
PROMEDIO																									
RANGO																									
G R A F I C O	LSC:																								
	LC:																								
	LIC:																								
ELABORADO POR										REVISADO POR															

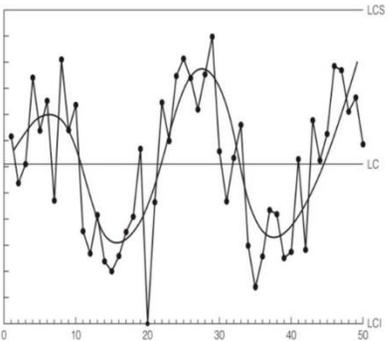
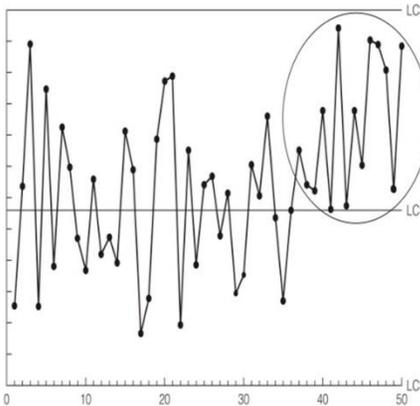
Nota: adaptado del que aparece en **Administración y control de la calidad** (Evans & Lindsay, 2008)

Anexo 2.4 Comportamiento del gráfico y sus posibles causas

(Evans & Lindsay, 2008)

Patrón de Comportamiento	Descripción	Posibles Causas
<p>Punto fuera de los límites de control.</p> 	<p>Un punto único fuera de los límites de control casi siempre se produce por una causa especial. A menudo, la gráfica R ofrece una indicación semejante. Sin embargo, muy de vez en cuando, estos puntos constituyen una parte normal del proceso y ocurren sólo por casualidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Una interrupción de energía repentina, una herramienta descompuesta, un error en la medición o una operación incompleta u omitida en el proceso. • Una razón común por la que un punto cae fuera de un límite de control es un error en el cálculo de \bar{X} y R para la muestra. Cada vez que esto ocurra, se deberán revisar los cálculos.
<p>Falta de variabilidad o Abrazo a la línea central.</p> 	<p>La falta de variabilidad o abrazo a la línea central ocurre cuando casi todos los puntos caen cerca de la línea del centro. En la gráfica de control parece que los límites de control son demasiado anchos. Los puntos reflejan poca variabilidad o estatificación. El patrón que indica esta situación es cuando quince puntos consecutivos muy cerca de la línea central, arriba o abajo de la misma</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equivocación en el cálculo de los límites de control. • Agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastante diferentes, que al combinarse se compensan unos con otros. • Carta de control inapropiada para el estadístico graficado.
<p>Mucha variabilidad o Abrazo a los límites de control</p> 	<p>Este patrón aparece cuando muchos puntos se encuentran cerca de los límites de control, en ambos lados de la línea central. El criterio para detectar la alta variabilidad es la observación de ocho puntos consecutivos en ambos lados de la línea central cercanos a los límites de control.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecontrol o ajustes innecesarios en el proceso. • Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba. • Control de dos o más procesos o estratos con diferentes promedios en la misma carta.

Patrón de Comportamiento	Descripción	Posibles Causas
<p>Inestabilidad</p> 	<p>La inestabilidad se caracteriza por fluctuaciones erráticas y poco naturales en ambos lados del cuadro durante un tiempo. A menudo, los puntos caen fuera de los límites de control superior e inferior sin un patrón consistente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Las causas imputables quizá son más difíciles de identificar en este caso que con patrones específicos. Una causa frecuente de inestabilidad es el ajuste excesivo de una máquina o las mismas razones que provocan el roce en los límites de control.
<p>Tendencia en el nivel del proceso</p> 	<p>La tendencia es el resultado de alguna causa que afecta en forma gradual las características de calidad del producto y ocasiona que los puntos en una gráfica de control se muevan gradualmente hacia arriba o hacia abajo a partir de la línea central. La tendencia se detecta cuando se observan seis o más puntos consecutivos en ascenso (o descenso). Un movimiento demasiado largo de puntos hacia arriba (o abajo) de la carta de control, aunque no todos los puntos en ascenso (o descenso).</p>	<ul style="list-style-type: none"> En la gráfica \bar{X}, las tendencias pueden ser resultado de mejorar las habilidades de los operadores, acumulación de basura o rebabas en las partes, desgaste de las herramientas, cambios en la temperatura o la humedad, o el envejecimiento del equipo. Una tendencia a la baja a es el resultado de mejores habilidades del operador, mejores métodos de trabajo, mejores materiales o un mantenimiento más frecuente o mejor. En la gráfica R, una tendencia en aumento quizá se deba a una reducción gradual en la calidad de los materiales, fatiga del operador, el hecho de que una pieza o herramienta se afloje poco a poco o la deficiencia de una herramienta. En ocasiones, pueden presentarse tendencias aparentes que son ocasionadas por variaciones naturales y del muestreo del proceso, por eso la tendencia debe ser larga para considerarla algo especial. Cuando se presente una tendencia y se dude si es especial, hay que estar alerta para ver si efectivamente está ocurriendo algo especial en el proceso.

Patrón de Comportamiento	Descripción	Posibles Causas
<p>Ciclos</p> 	<p>Los ciclos son patrones cortos repetidos en el cuadro, que alternan crestas elevadas y valles bajos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estos patrones son resultado de causas que van y vienen de forma regular. • En la gráfica de \bar{X}, los ciclos resultan de la rotación de operadores o la fatiga al final de un turno, distintos medidores utilizados por inspectores diferentes, efectos de la temporada, como la temperatura o la humedad, o diferencias entre los turnos diurno y nocturno. • En la gráfica R, los ciclos pueden ocurrir a causa de los horarios de mantenimiento, de la rotación de arreglos o medidores, de las diferencias entre turnos o de la fatiga de los operadores. • Las cartas p, np, c y u son afectadas por las mismas causas que las cartas de medias y rangos.
<p>Desplazamiento o cambio de nivel del proceso</p> 	<p>Un número inusual de puntos consecutivos que caen a un lado de la línea central casi siempre es una indicación de que el promedio del proceso se desplazó en forma repentina. Se emplean tres reglas empíricas para detectar a tiempo los cambios en los procesos. Una regla sencilla es que si ocho puntos consecutivos caen en un lado de la línea central, se podría llegar a la conclusión de que la media cambió. En segundo lugar, se divide la región entre la línea central y cada límite de control en tres partes iguales. Luego, si (1) dos de tres puntos consecutivos caen en el tercio exterior entre la línea central y uno de los límites de control o (2) cuatro de cinco puntos consecutivos caen dentro de la región exterior de dos tercios, también se puede llegar a la conclusión de que el proceso está fuera de control.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descuido de los operadores, un mantenimiento deficiente o inadecuado, o quizá una falla que es necesario reparar; si el cambio se encuentra abajo, la uniformidad del proceso mejoró. • En la carta \bar{X} y R implica un cambio en la media del proceso, las causas posibles podrían ser un operador nuevo, un inspector nuevo, un nuevo valor en la máquina o un cambio en la instalación o método. Si el cambio está arriba en la gráfica R, el proceso se ha vuelto menos uniforme. • En la carta R y S un cambio de nivel significa que la variabilidad aumentó o disminuyó, aunque por la falta de simetría de la distribución de R y S, este patrón del lado inferior de estas cartas se debe ver con mayor reserva y esperar la acumulación de más puntos por abajo de la línea central para declarar que hay un cambio significativo (disminución de la variabilidad). • Cuando este patrón ocurre en las cartas p, np, u o c, se dice que hubo un cambio en el nivel promedio del proceso; eso significa que el nivel promedio de no conformidades se incrementó o disminuyó;

Anexo 2.5 Tablas para evaluar los índices de capacidad de corto y largo plazo en términos de C_p , Z_c , Z_L y PPM y su interpretación.

Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p , Z_c , Z_L y PPM

Calidad de corto plazo (suponiendo un proceso centrado)				Calidad de largo plazo con un movimiento de 1.5σ		
Índice C_p	Calidad en sigmas Z_c	% de la curva dentro de especificaciones	Partes por millón fuera de especificaciones	Índice Z_L	% de la curva dentro de especificaciones	PPM fuera de especificaciones
0.33	1	68.27	317 300	-0.5	30.23	697 700
0.67	2	95.45	45 500	0.5	69.13	308 700
1.00	3	99.73	2 700	1.5	93.32	66 807
1.33	4	99.9937	63	2.5	99.379	6 210
1.67	5	99.999943	0.57	3.5	99.9767	233
2.00	6	99.9999998	0.002	4.5	99.99966	3.4

Nivel de calidad en sigmas: $Z_c = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(\text{PPM}_L)}$ $\text{PPM}_L = \exp \left[\frac{29.37 - (Z_c - 0.8406)^2}{2.221} \right]$

Valores del C_p y su interpretación

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Nota: Tomado de (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

Elementos adicionales para la interpretación del índice C_{pk} :

- El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p . Cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.
- Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p .
- Cuando el valor del índice C_{pk} sea mayor a 1.25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que $C_{pk} > 1.45$.
- Es posible tener valores del índice C_{pk} iguales a cero o negativos, que indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Nota: Tomado de (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

Anexo 2.6 Índices de capacidad para procesos univariados

Índices de capacidad de proceso (a corto plazo): estos índices se determinan a partir de la estimación de la desviación estándar de corto plazo o sea la sigma estimada para el cálculo de los límites de control.		
Descripción del índice	Fórmula de Cálculo	Variables
Índice de Capacidad potencial del proceso. C_p. permite conocer en qué medida se cumple con las especificaciones.	$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$	ES y EI : Especificación superior e inferior para la característica de calidad. σ : desviación estándar del proceso. μ : media del proceso. N (target): valor objetivo o nominal de la característica de calidad. τ : Índice de Taguchi
Razón de capacidad Potencial. C_r. Es el inverso de C_p , representa la proporción de la banda de especificaciones que es ocupada por el proceso.	$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI}$	
Índices de capacidad para la especificación inferior (C_{pi}) y superior (C_{ps}). Es un indicador de la capacidad de un proceso para cumplir con la especificación superior o inferior de una característica de calidad.	$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$ $C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$	
Índice de capacidad real del proceso C_{pk}. Se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso.	$C_{pk} = \text{Min}[C_{ps}; C_{pi}]$	
Índice de centrado del proceso K. Es un indicador de qué tan centrada está la distribución de un proceso con respecto a las especificaciones de una característica de calidad dada.	$K = \left(\frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \right) * 100$	
Índice (índice de Taguchi) C_{pm}. El índice de Taguchi es similar al C_{pk} que, en forma simultánea, toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso.	$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$ $\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$	

<p>Índices de largo plazo : estos índices se determinan a partir de la estimación de la desviación estándar de largo plazo (σ_L) a partir de la desviación estándar (S) de los datos tomados del proceso ($\sigma_L = S$)</p>		
<p>Índice de desempeño potencial del proceso P_p: se calcula en forma similar al índice C_p pero usando la desviación estándar de largo plazo.</p>	$P_p = \frac{ES - EI}{6\sigma_L}$	<p>σ_L: Desviación estándar de largo plazo.</p>
<p>Índice de desempeño real del proceso P_{pk}: se calcula en forma similar al índice C_{pk} pero usando la desviación estándar de largo plazo.</p>	$P_{pk} = \min \left[\left(\frac{\mu - EI}{3\sigma_L} \right); \left(\frac{ES - \mu}{3\sigma_L} \right) \right]$	<p>S: Desviación estándar de los datos.</p>
<p><i>Métrica 6 sigma (6σ): Calidad Seis Sigma o los procesos Seis Sigma se refieren a un concepto que plantea una aspiración o meta común en calidad para todos los procesos de una organización (H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)</i></p>		
<p>Índice Z. Se obtiene calculando la distancia entre la media y las especificaciones y esta distancia se divide entre la desviación estándar.</p>	$Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$ $Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$ $Z = \min(Z_s; Z_i)$	<p>Z_i: Índice Z inferior Z_s: Índice Z superior Z_C: Índice Z de corto plazo inferior, calculado a partir de la desviación estándar de corto plazo.</p>
<p>Índice Z_m representa la habilidad para controlar la tecnología.</p>	$Z_m = Z_C - Z_L$	<p>Z_L: Índice Z de corto plazo inferior, calculado a partir de la desviación estándar de largo plazo.</p>

Anexo 2.7 Clasificación del estado del proceso

Tabla 2.9. Matriz para clasificar cualitativamente el estado de un proceso.

Matriz de estado del proceso			
Capacidad (índices Cp y Cpk)		Si	No
		Si	A (estable y capaz)
	No	C (estable pero incapaz)	D (inestable e incapaz)
Estabilidad (S_t)			

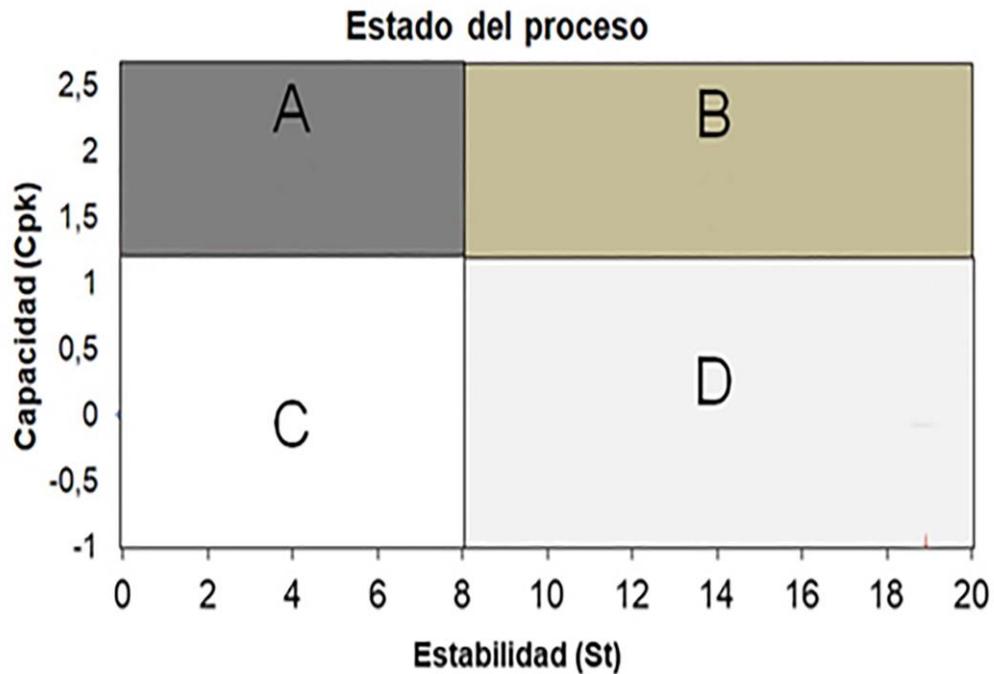


Figura. 2.2. Sistema de coordenadas y ubicación de los cuadrantes para clasificar cuantitativamente el estado de un proceso.

Anexo 2.8 Gráficas de precontrol

(H. Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

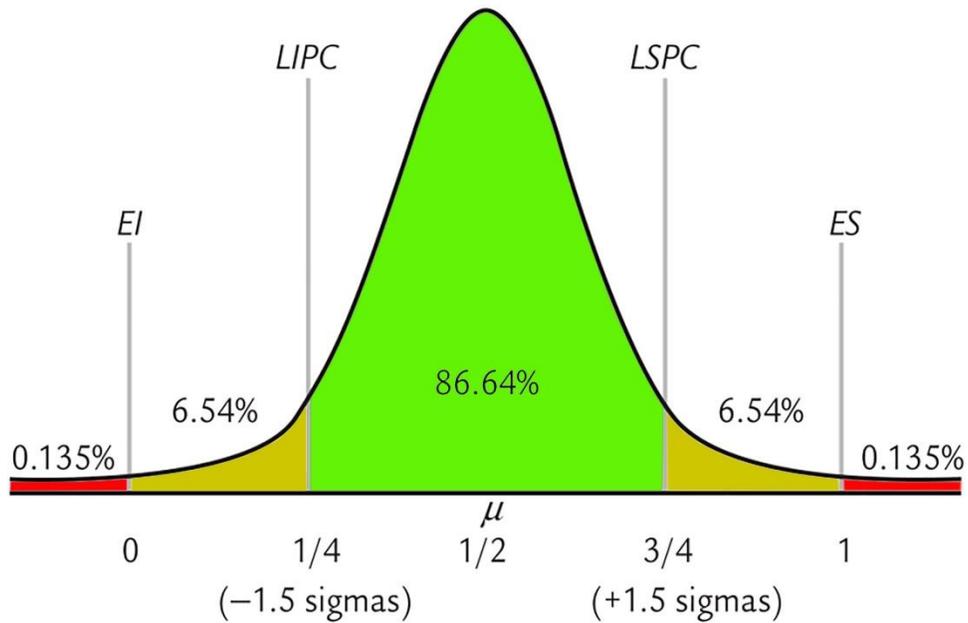


Tabla fase de Calificación

Condición	Acción correctiva
1. Dos unidades en zona verde	Continuar
2. Una en zona verde y otra en zona amarilla	Investigar y reiniciar
3. Dos unidades en zona amarilla	Investigar y reiniciar
4. Una unidad en zona roja	Investigar y reiniciar

Anexo 3.1 Comportamiento de la producción.

Tabla A. Resumen unidades producidas y plan en el segundo semestre 2020 (unidades físicas y valores)

Categ.	Código	Producto	Precio	Producidas tercer trimestre		Plan cuarto trimestre	
				Unidades	Valor	Unidades	Valor
PIEZAS DE REPUESTO	122 01020101	Buje	50,45	0	0	208	10493,6
	132 01020003	Tapa Convexa	34,95	0	0	500	17475
	132 01020106	Tacón Cóncavo	74,75	0	0	500	37375
	133 01020001	Tapa Cóncava	37,5	550	20625	0	0
	CASE-00-02	Segmento De Corte	20,45	0	0	580	11861
	CUCHILLA JF 30	Cuchilla Forrajera	165,55	506	83768,3	0	0
	CUCHILLA PLUS-2000	Cuchilla Forrajera	49,6	0	0	500	24800
	GD 00060003	Tapa Cóncava	68,62	383	26281,46	76	5215,12
	GD 00060004	Tacón Convexo	71,9	430	30917	0	0
	GD 00060007	Tapa Convexa	67,85	0	0	449	30464,65
	GR 96501040006	Eje	99,3	0	0	60	5958
	IF 02000004	Tapa Convexa	37,25	500	18625	0	0
	IF 02000008	Tapa Convexa	36,6	120	4392	0	0
	IF 02010003	Tapa Chumacera	31,15	530	16509,5	0	0
	KTP 03-439	Cuchilla Del Picador	30,7	15480	475236	0	0
	PL 26 R 127	Disco	50,45	0	0	600	30270
	PL 26 R 148	Disco	33,05	400	13220	100	3305
	PL 28 R 148	Disco	82,7	0	0	400	33080
	CD 22 R33	Disco	90,95	0	0	60	5457
	CD 30 R 51	Disco	130,1	0	0	800	104080
CL 26 R 33	Disco	63,35	216	13683,6	5	316,75	
TP 02030002	Semiproducto Azada	15,7	9780	153546	7035	110449,5	
EQUIPOS	AFT4-00-00-00-00	Arado Fijo Tubular De 4 Disco	15758	2	31515,9	0	0
	ASS7-00-00-00-00	Arado Semisuspendido De 7 Discos	31196,3	0	0	13	405551,9
	GR24-22-00-00-00-00	Grada De 24 Discos De 22"	16445,9	0	0	6	98675,1
	TTA-00-00-00-00	Tractolva	95923,4	2	191846,7	0	0
	TG-00-00-00-00	Trilladora	13062,6	37	483314,35	36	470251,8
	S 1.5.00.00.00	Chapeadora	5153,5	0	0	3	15460,5
	MH-00-00	Mesa Hospitalaria	144,85	250	36212,5	117	16947,45
	EH-00-00	Escabel	114,8	150	17220	190	21812
	CHA-00-00-00	Cama Hospitalaria Articulada	1469,95	0	0	100	146995
	CHR-00-00-00	Cama Hospitalaria Rígida	1226,45	100	122645	0	0
CHS-00-00-00	Cama hosp. semiarticulada	1348,9	167	225266,3	0	0	

Resumen de tabla A unidades producidas y plan en el segundo semestre 2020 (unidades físicas y valores)

Concepto	Cant. de renglones	Producción tercer trimestre (Unidades)	Valor total (\$)	Plan cuarto trimestre	Valor plan (\$)
Piezas de repuesto	22	28895	856.803,86	11873	430.600,62
Equipos	11	708	1.108.020,75	465	1.175.693,75

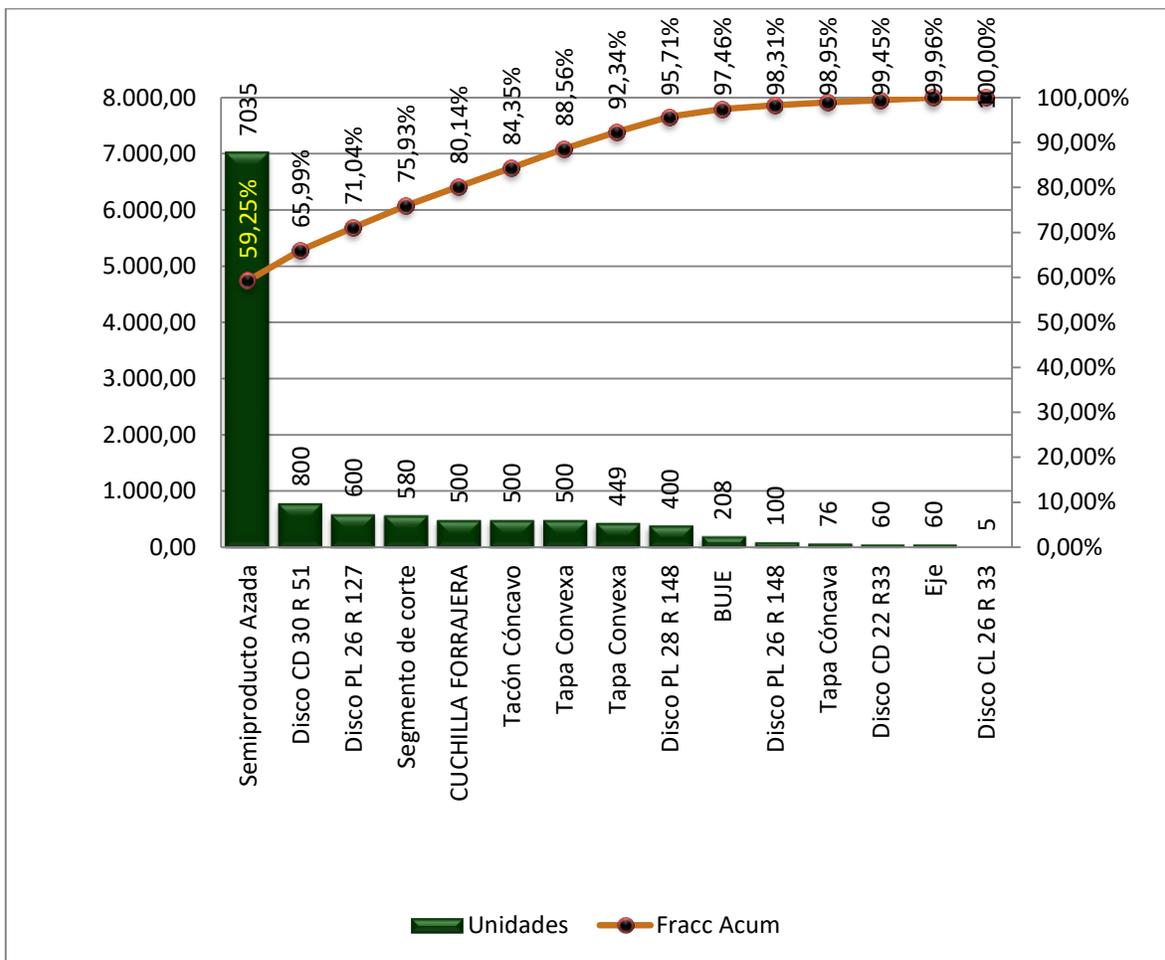


Figura A1. Diagrama de Pareto para cantidades

Anexo 3.1. A Comportamiento de la producción.

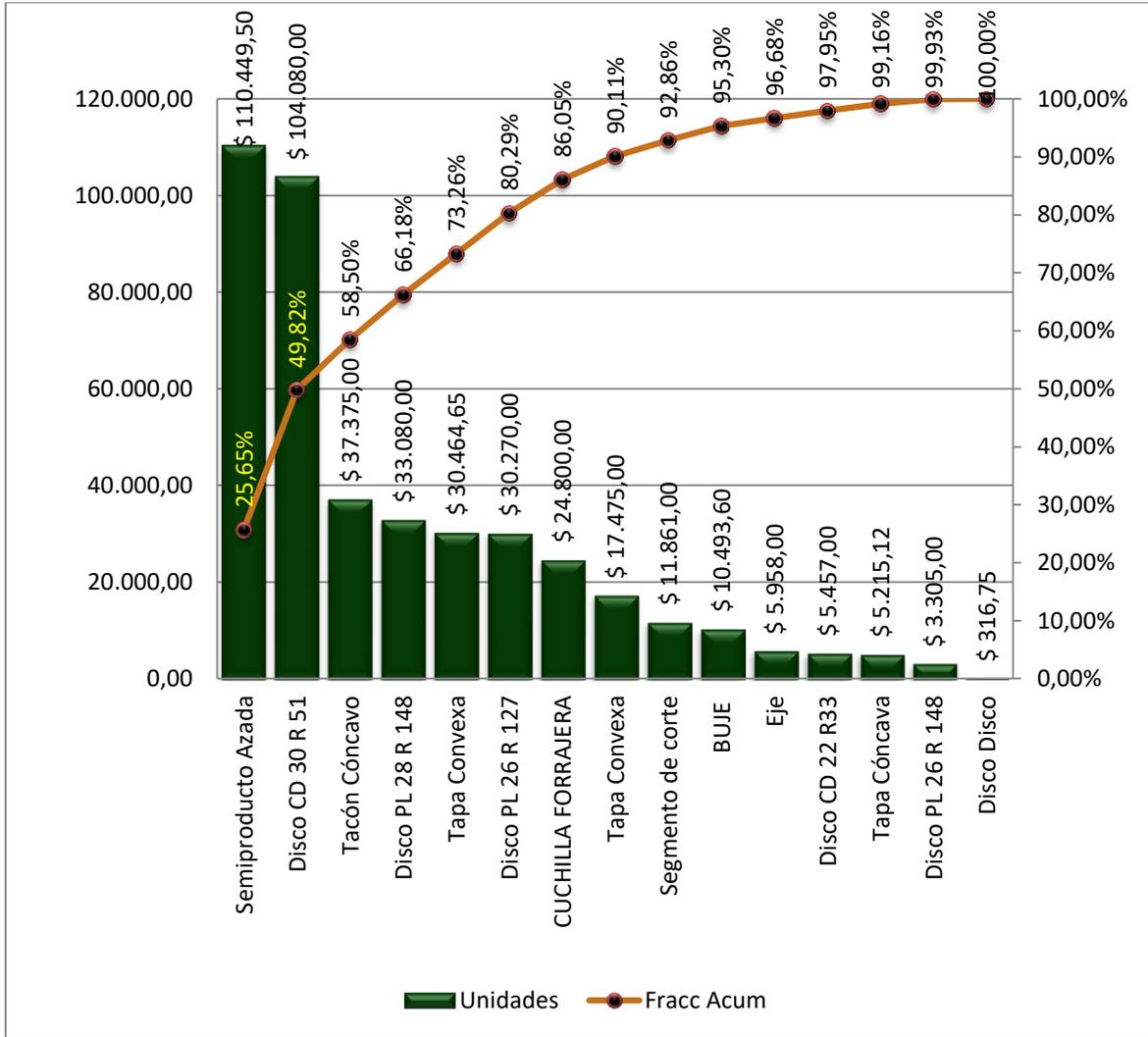
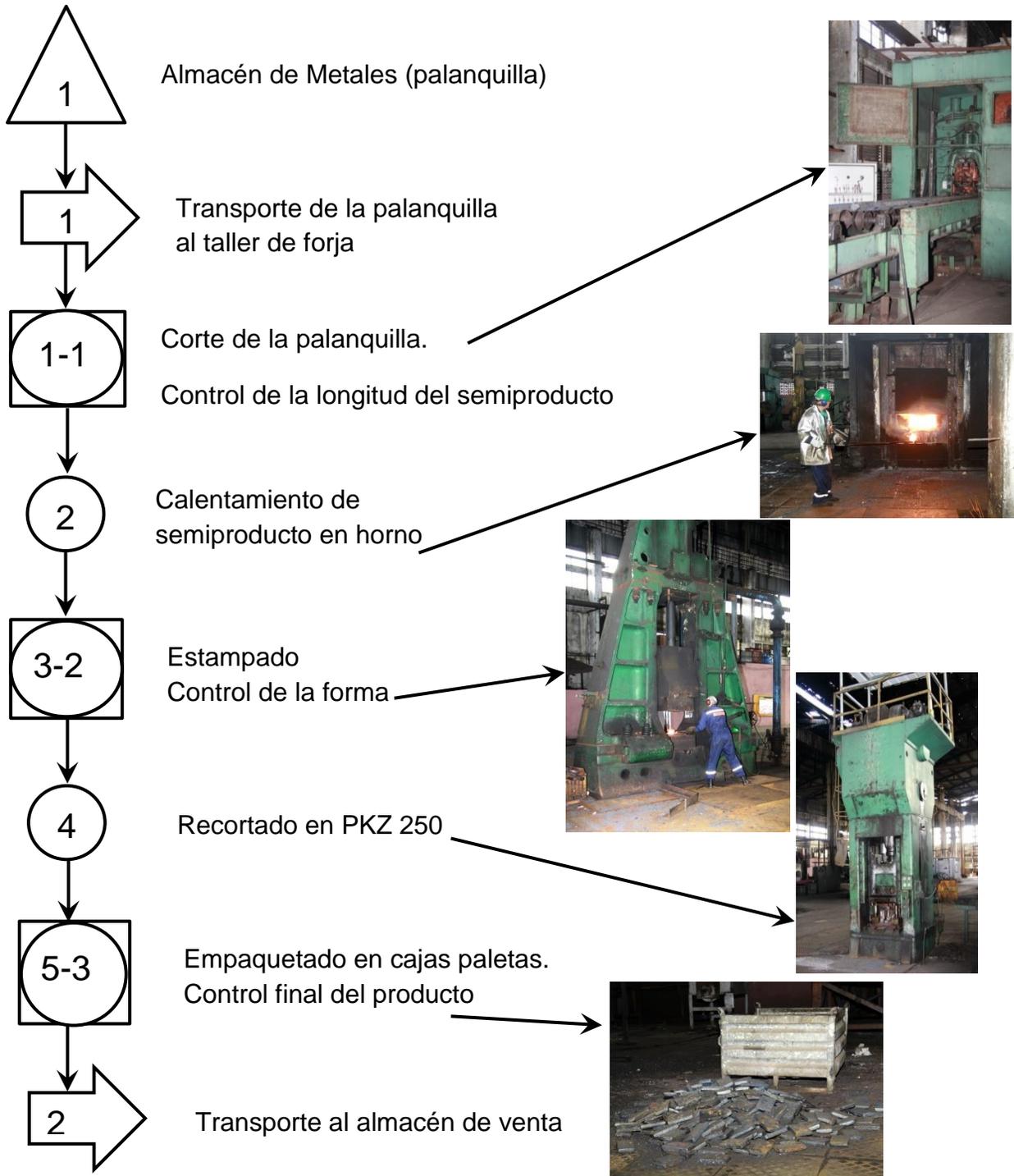
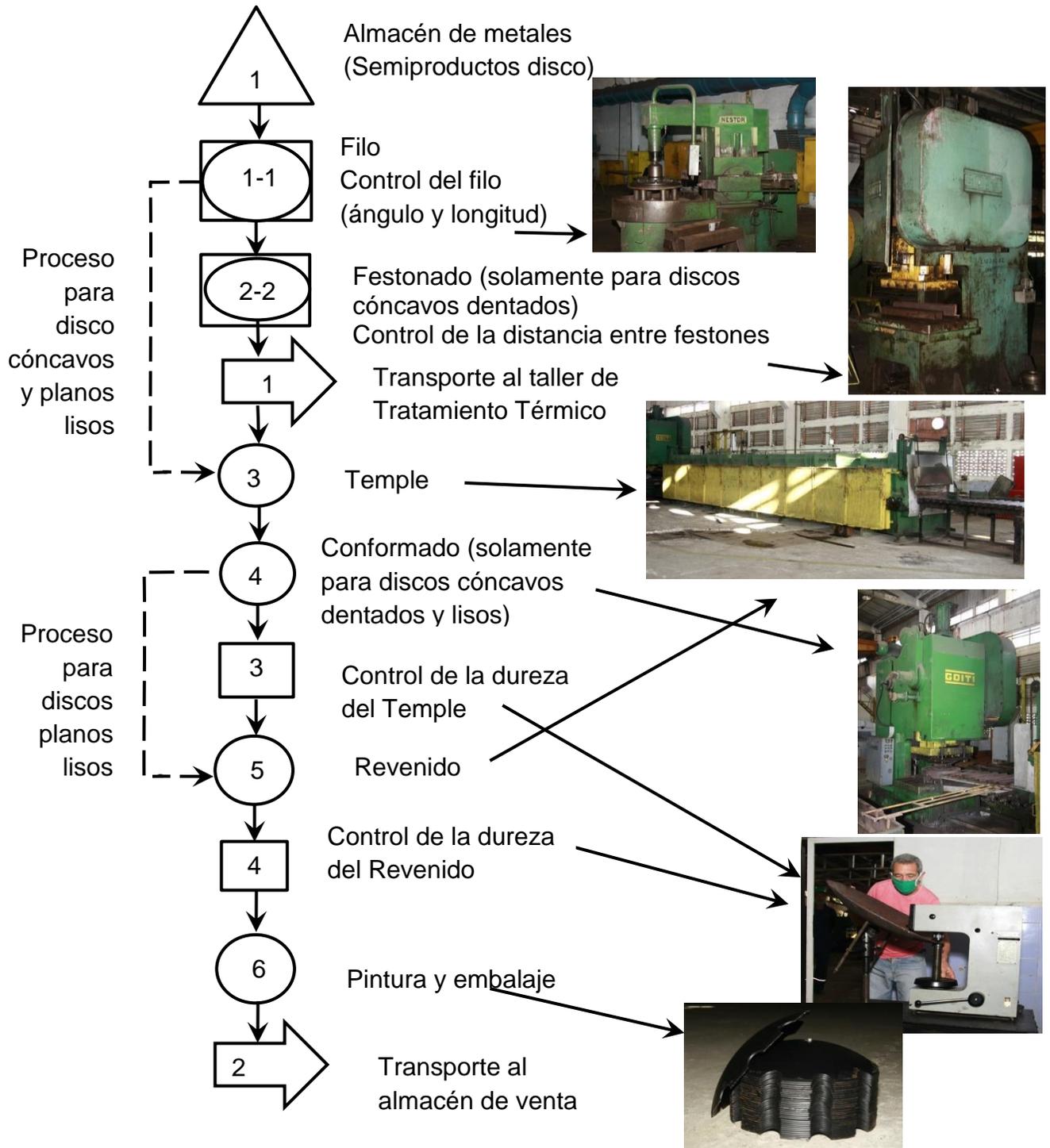


Figura A2. Diagrama de Pareto para valores de producción.

Anexo 3.2 Diagrama OTIDA del proceso de producción del Semiproducto Azada.



Anexo 3.4 Diagrama OTIDA del proceso de Producción de los Discos Agrícolas.



Anexo 3.5 Registro de las mediciones de la dureza del revenido.

Código: Disco CD 30 R 51										Denominación: Disco CD 30 R 51										D	M	A				
Operación: Revenido										Parámetro a controlar: Dureza Dureza 47—54 HRC										28	10	2020				
Operario:										Máquina Herramienta: Horno de Temple Continuo																
Subgrupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	2	2	2	2	2	
Hora																										
OBSERVACIONES	1	50,7	50,0	50,6	50,9	51,2	50,3	52,0	49,9	51,3	51,5	50,0	51,4	50,1	50,0	50,4	52,0	50,7	51,3	50,0	49,6					
	2	50,0	51,8	50,0	51,0	52,0	50,9	50,7	51,2	50,5	49,9	51,0	51,2	49,5	52,0	50,9	50,1	51,4	50,6	50,6	50,5					
	3	51,3	50,7	51,4	51,6	51,6	50,1	51,1	49,5	52,5	50,6	49,8	52,3	50,2	51,7	51,0	50,7	49,8	52,3	50,5	50,0					
	4	49,7	51,4	50,1	50,1	50,1	49,9	50,6	50,9	51,6	51,0	50,7	50,6	51,0	51,4	49,6	51,6	50,0	50,3	49,0	51,4					
	5																									
SUMA																										
PROMEDIO																										
RANGO																										
G R Á F	LSC:																									
	LC:																									
	LIC:																									
ELABORADO POR															REVISADO POR											

Anexo 3.6 Registro de las no conformidades del proceso de producción del semiproducto Azada.

Mes	No lote	Cant. Entrando al proceso	No conformidades por operación					TOTAL	Fracción
			Corte de palanquilla	Calentamiento	Estampado	Recorte			
Octubre	1	350	0	0	2	0	2	0,57%	
	2	350	2	0	0	1	3	0,86%	
	3	350	0	0	0	4	4	1,14%	
	4	350	0	0	0	6	6	1,71%	
	5	350	0	0	2	1	3	0,86%	
	6	350	0	0	2	1	3	0,86%	
	7	350	2	0	0	3	5	1,43%	
	8	350	0	0	2	6	8	2,29%	
	9	350	4	0	0	0	4	1,14%	
	10	350	2	0	2	0	4	1,14%	
	11	286	0	0	2	2	4	1,40%	
Noviembre	12	350	0	0	0	8	8	2,29%	
	13	350	2	0	2	0	4	1,14%	
	14	265	2	0	0	1	3	1,13%	
Diciembre	15	350	0	0	0	2	2	0,57%	
	16	350	0	0	0	6	6	1,71%	
	17	350	2	0	0	2	4	1,14%	
	18	350	0	0	2	0	2	0,57%	
	19	350	2	0	0	2	4	1,14%	
	20	350	0	0	2	8	10	2,86%	
	21	276	2	0	0	1	3	1,09%	
Total		7127	20	0	18	54	92	1,29%	

Anexo 3.7 Reporte del STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14. Sobre el análisis exploratorio de datos.

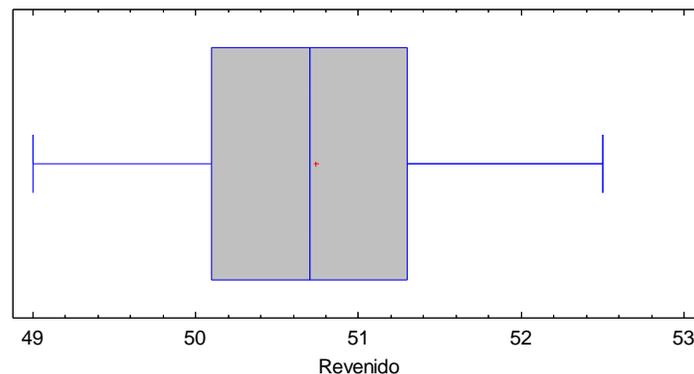
Diagrama de Tallo y Hoja para Revenido: unidad = 0,1 1|2 representa 1,2

1	49 0
11	49 5566788999
29	50 000000001111112334
(19)	50 55566666667777779999
32	51 000000122233344444
14	51 5666678
7	52 000033
1	52 5

El StatAdvisor

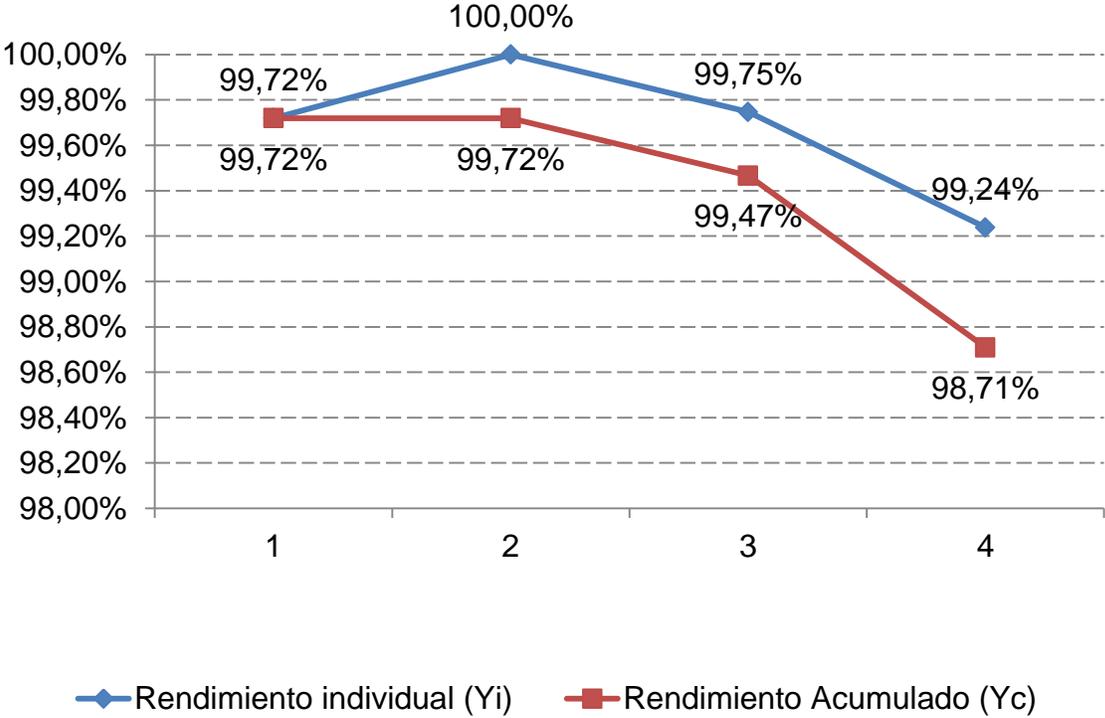
Esta ventana muestra la tabulación de frecuencias para Revenido. El rango de los datos se ha dividido en 8 intervalos (llamados tallos), cada uno representado por un renglón en la tabla. Los tallos se etiquetan utilizando uno o más dígitos indicadores para los valores que caen dentro de ese intervalo. En cada renglón, los valores individuales se representan por un dígito (llamado hoja) a la derecha de la línea vertical. Esto resulta en un histograma para los datos del cual uno puede recuperar, al menos, dos dígitos significativos de cada valor. Si hay algunos puntos muy alejados del resto (llamados puntos lejanos), se colocan en tallos alto y bajo separados. En este caso, no hay puntos alejados. Los puntos alejados se muestran gráficamente en la gráfica de caja y bigote, a la cual puede accederse por vía de la lista de Opciones Gráficas. La columna de números de la extrema izquierda contiene los recuentos acumulados desde el inicio y desde el fondo de la tabla, deteniéndose en el renglón que contiene a la mediana.

Gráfico de Caja y Bigotes



Anexo 3.8 Gráfico del rendimiento por operaciones y acumulado del proceso de forja

Rendimiento por operaciones y acumulado



Anexo 3.9 Reporte del STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. V. 15.2.14. sobre el análisis de capacidad del revenido.

Índices de Capacidad para Revenido

Especificaciones

LSE = 54,0

LIE = 47,0

	Capabilidad	Desempeño
	Corto Plazo	Largo Plazo
Sigma	0,811073	0,762138
Cp/Pp	1,43842	1,53078
Cpk/Ppk	1,34082	1,42691
Cpk/Ppk (superior)	1,34082	1,42691
Cpk/Ppk (inferior)	1,53603	1,63466
DPM	30,8461	9,79122

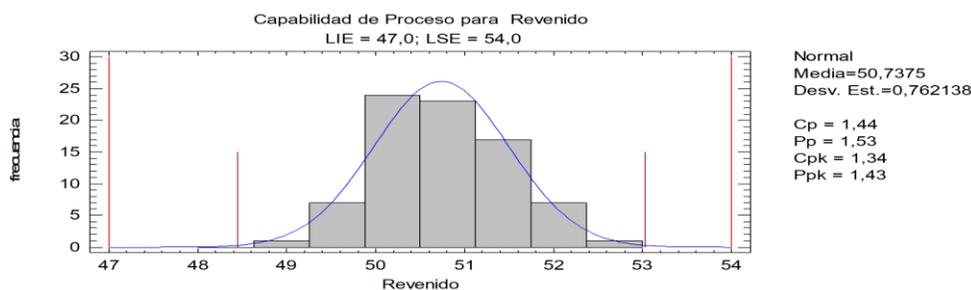
Con base en límites 6,0 sigma. La sigma de corto plazo se estimó a partir del rango promedio.

Intervalos de confianza del 95,0%

Índice	Límite Inferior	Límite Superior
Cp	1,2144	1,66205
Pp	1,29237	1,76876
Cpk	1,11935	1,56228
Ppk	1,19273	1,66108

El StatAdvisor

Se han calculado diversos índices de capacidad para resumir la comparación entre la distribución ajustada y las especificaciones. Un índice común es el Pp, que, en el caso de una distribución normal, es igual a la distancia entre el los límites de especificación dividida entre 6 veces la desviación estándar. En este caso, el Pp es igual a 1,53078, el cual generalmente se considera bueno. Ppk es un índice de capacidad unilateral, el cual, en el caso de una distribución normal, divide la distancia de la media al límite de especificación más cercano, entre 3 veces la desviación estándar. En este caso, el Ppk es igual a 1,42691.



Anexo 3.10 Diagrama Causa Efecto del análisis de estabilidad

