

Universidad Central
"Marta Abreu" de las Villas



Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo

**Tesis para optar por el grado académico de Máster en Ingeniería
Industrial, especialidad de Calidad**

Tema:

***CONTRIBUCIÓN AL ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LOS PROCESOS.
DESARROLLO DE UN NUEVO ÍNDICE DE CAPACIDAD Y SU VALORACIÓN
POR SIMULACIÓN.***

Autor: Ing. Isidro Mesa Álvarez

**Tutores: Dr. C. Ing. Carlos A. Machado Oses
Ms.C. Ing. Fernando Abel Canga**

Curso 2012-2013, Santa Clara, Cuba

Resumen

Resumen

El presente trabajo de investigación es una contribución teórico-metodológica a los estudios especiales de los procesos, y en específico a la metodología seis-sigma. Se realizó un profundo análisis de los índices de capacidad univariados y se tomaron sus bases para la conformación de un nuevo índice que fuera más general, pero que evaluara con mayor severidad y sensibilidad a los procesos. Se desarrolló una función de penalización acotada entre 0 y 1 para incorporarle al nuevo índice de la sensibilidad (penalización) al evaluar la capacidad de los procesos.

Este nuevo índice, denominado Cpmks, fue valorado mediante técnicas de simulación para comprobar su rigor y sensibilidad en las valoraciones de la capacidad de los procesos de fabricación y/o de servicios. Se desarrollaron módulos de programación en lenguaje M de mathcad, para realizar todo el proceso de simulación y generaciones de valores hipotéticos de un proceso con escenarios específicos de desviaciones y parámetros de procesos.

Abstract

Abstract

The present investigation is a theoretical and a methodological contribution to the special studies of the processes, and in specific to the six-sigma methodology. It was carried out a deep analysis of the capacity indexes in the univariate system and we took their foundations for the conformation of a new capability index that was more general, but with bigger severity and sensibility in the process evaluation. A function of penalization was developed; it is enclosed between the probabilistic values 0 and 1, this function was incorporated to the new index in order to obtain t necessary sensibility (penalization) for the processes capability evaluation.

This new index, denominated Cpmks, it was valued by means of simulation technic in order to check their rigor and sensibility in the process capability evaluations in production and/or services. Several programming modules were developed in language mathcad M, to carry out the process simulation and generations of hypothetical values of a process with specific scenarios of deviations and process parameters.

Índice General

Índice general

Índice general.....	I
Índice de Abreviaturas y Acrónimos	III
Índice de Símbolos	IV
Índice de Figuras	V
Tablas y Cuadros.....	VI
Introducción	1
Problema científico de la investigación.	6
Hipótesis.....	6
Objetivo General.	6
Objetivos específicos.	7
Preguntas de investigación.	7
Tipo y diseño de investigación.....	7
Estructura del Informe de Investigación.....	8
Justificación y viabilidad.....	8
1 Marco Teórico y Referencial de la Investigación: Estado de la teoría y la praxis en el Análisis de la calidad. Estudios especiales de los procesos en este contexto.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Conceptos de Calidad.	10
1.3 Surgimiento y evolución de la Calidad.....	13
1.4 Gestión de la Calidad.	15
1.4.1 Principales modelos que acompañan la gestión de la calidad. .	17
1.5 Técnicas utilizadas en el mejoramiento de la Calidad.	19
1.6 Sistema de Gestión de la Calidad.	20
1.6.1 Características de un Sistema de Gestión de la Calidad.	22
1.6.2 Requisitos generales de un Sistema de Gestión de la Calidad (ISO9001:2000).....	23
1.6.3 Beneficios de los Sistemas de Calidad.	24
1.7 Análisis de capacidad de proceso.	25
1.7.1 Índices de Capacidad de los Procesos. Análisis teórico e ingenieril.	26
1.8 Conclusiones parciales.....	29
2 Caracterización general de los índices de Capacidad. Estudio Teórico de su desarrollo y aplicaciones metrológicas según tipos de tolerancias.....	30
2.1 Introducción	30
2.2 Método general para la valoración de la Capacidad de los procesos. ...	30
2.2.1 Primer Método.....	31

Índice General

2.2.2 Segundo Método	33
2.3 Índices de Capacidad para procesos con Tolerancias simétricas.	35
2.4 Índices de Capacidad para procesos no centrados.....	38
2.5 Índice de Capacidad para los procesos con Tolerancias asimétricas.....	42
2.5.1 Índice Cpk	42
2.5.2 Índice Cpm	43
2.5.3 Índice Cpmk	44
2.5.4 Otros índices de Capacidad.	45
2.6 Conclusiones parciales del capítulo II.....	47
3 Desarrollo de un nuevo índice de capacidad de los procesos.	48
3.1 Introducción	48
3.2 Un nuevo índice de capacidad de los procesos (Cpmks).....	48
3.2.1 Primera propuesta para el índice Cpmks.	49
3.2.2 Segunda propuesta para el índice Cpmks.....	49
3.3 Valoración por simulación de la sensibilidad del índice Cpmks.	51
3.3.1 El primer escenario. Asimetría negativa sin grandes riesgos para la Calidad	52
3.3.2 El segundo escenario. Asimetría negativa con grandes riesgos para la Calidad	53
3.3.3 El tercer escenario. Asimetría positiva sin grandes riesgos para la Calidad	55
3.3.4 El cuarto escenario. Asimetría positiva con grandes riesgos para la Calidad	56
Conclusiones generales	58
Recomendaciones.....	59
Bibliografía	60
Lista de Anexos.....	I

Índice de Abreviaturas y Acrónimos

Índice de Abreviaturas y Acrónimos

UEB:	Unidad Empresarial Básica.
NC:	Norma Cubana.
ISO:	International Standard Organization
MTR:	Marco teórico referencial.
ONU:	Organización de Naciones Americanas.
OTN:	Organización Territorial de Normalización.

Índice de Símbolos

Índice de Símbolos

χ^2 : Chi cuadrado

\bar{X} : Media Muestral

σ : Desviación típica muestral

LSE (OSG) : Límite superior de especificación

LIE (USG) : Límite inferior de especificación

Índice de Figuras

Índice de Figuras

Figura I: Mapa Conceptual de la Tesis.	8
Figura 1.1: Hilo conductor del capítulo.	10
Figura 1.2: Sistema de Gestión de la Calidad.	18
Figura 1.3: Ciclo de calidad de Deming (1950).	19
Figura 1.4: Comportamiento según ley Normal de un histograma de frecuencias.	26
Figura 1.5: Estado de Control estadístico y Capacidad de los procesos.	27
Figura 1.6: Comportamiento de la zona de Tolerancia natural para diferentes distribuciones.	28
Figura 2.1: Hilo conductor del Capítulo II	30
Figura 2.2: Clasificación de los procesos según el índice.	36
Figura 2.3: Probabilidad y Cp según relación T/σ a) Cp vs. Probabilidad, b) Probabilidad vs.Cp.	38
Figura 2.4: Curvas de los índices Cp, Cpk, Cpm y Cpmk para las condiciones reales.	40
Figura 2.5: Imagen tridimensional de $Cpk(c, k)$.	43
Figura 2.6: Imagen tridimensional de $Cpm(c, k)$.	44
Figura 2.7: Imagen tridimensional de $Cpmk(c, k)$.	45
Figura 3.1: Hilo conductor del capítulo III.	48
Figura 3.2: Superficie de sensibilidad y penalización para Cpmks.	51
Figura 3.3: Histograma para datos simulados. Primer escenario.	52
Figura 3.4: Histograma para datos simulados. Segundo escenario.	54
Figura 3.5: Histograma para datos simulados. Tercer escenario.	55
Figura 3.6: Histograma para datos simulados. Cuarto escenario.	57

Tablas y Cuadros

Tablas y Cuadros

Tabla 2.1: Expresión de cálculo del índice de Capacidad Cp basada en el valor esperado	34
Tabla 2.2: Valores de comparación para un caso real	40
Tabla 3.1: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Primer escenario.	53
Tabla 3.2: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Segundo escenario.	54
Tabla 3.3: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Tercer escenario.	56
Tabla 3.4: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Cuarto escenario.	57

Introducción

Introducción

En la actualidad el término calidad es usado en todos los campos de la vida moderna. La influencia sobre las organizaciones de fenómenos como los acelerados cambios en la tecnologías de la información y las comunicaciones, la globalización, la evolución de los valores, normas y estilos de vida de la sociedad, las obligan a “adaptar e innovar sus procesos” para adecuarse a las nuevas y siempre cambiantes exigencias del entorno, cumplir con sus renovadas misiones y convertirse en organizaciones que aprenden de su propio desempeño, de esta forma la búsqueda constante de niveles superiores de calidad se ha convertido en un reto para las organizaciones, tanto para garantizar su supervivencia como para cumplir con las exigencias del desarrollo de la sociedad. (Feigenbaum, A. V. 1997)

El enfrentamiento a mercados cada vez más exigentes y condiciones externas, regidas por una época globalizada, donde el desarrollo científico, técnico e industrial se acrecienta cada día más; resulta una situación propicia para que muchas empresas sitúen las esperanzas competitivas en el mejoramiento de numerosos problemas existentes, relacionados con el proceso, sus actividades, la tecnología, el personal y el ambiente laboral, evitando el deterioro de los recursos naturales para garantizar el desarrollo de las futuras generaciones.

Al respecto, las prácticas modernas de calidad recomiendan la eliminación de metas numéricas fijas, proyectándose a favor de programas que reduzcan constantemente la variabilidad en los procesos; con el propósito de que puedan ser conformadas nuevas especificaciones, basadas en la uniformidad de la producción como la principal meta (Arcelus & Rahim, 1996). En este sentido son muchos los casos industriales, que todavía en el presente tienen serios desafíos (Woodall, 2000), ante lo cual la actitud de asumir riesgos y plantear estrategias de calidad flexibles y adaptables, requiere de un conocimiento profundo de los productos que ofrecen y los procesos empleados para elaborarlos; soporte que permita no la introducción de innovaciones aisladas, sino el desarrollo de políticas empresariales a través de mejoras continuas y sistemáticas.

El planteamiento anterior es válido también para las industrias cubanas tanto de la construcción, metalmecánica, azucarera, servicios industriales y la petroquímica-

Introducción

farmacéutica, las que en medio de un profundo reordenamiento productivo, tienen la necesidad de elaborar con la mayor brevedad una estrategia a mediano plazo, que comprenda la producción y/o el servicio industrial, la modernización de la tecnología básica y la infraestructura, reduciendo los costos en la industria y servicios, teniendo en cuenta su tipo de producción-servicio y los destinos en el mercado.

Estas estrategias deben estar encaminadas principalmente a establecer alternativas que conduzcan a una industria más organizada desde el punto de vista de su gestión en todas las áreas del proceso industrial; para lo cual se sugiere que deben emplearse técnicas modernas de dirección empresarial, adecuadas a las características de la industria cubana y basadas en las mejores y más avanzadas prácticas contemporáneas, con un amplio uso de todas las posibilidades tecnológicas y de servicios informáticos, teniendo prioridad en el país a los fines de garantizar la mayor eficiencia en la gestión y los procesos productivos.

Estudios recientes han demostrado que la clave para una operación rentable de la empresa es el conocimiento de las necesidades de sus clientes y el nivel de satisfacción alcanzado por ellos al consumir el producto o servicio ofrecido. Se argumenta que generalmente si los consumidores están satisfechos con el producto o servicio, ellos lo comprarán y usarán probablemente en mayor cantidad y comentarán a otros de su favorable experiencia con dicho producto o servicio.

Los resultados del proceso de prestación de servicio se materializan en características de calidad, y en la medida que estos cumplan con lo que espera el cliente, se logrará que este se sienta satisfecho y por lo tanto que lo considere de calidad. La calidad es cumplir o exceder las necesidades y expectativas de los clientes.

Según Kaoru Ishikawa, la calidad es todo lo que alguien hace a lo largo de un proceso para garantizar que un cliente, fuera o dentro de la organización obtenga exactamente aquello que desea en términos de características intrínsecas, costos y atención que arrojarán indefectiblemente satisfacción para el consumidor.

La calidad es fundamental para toda organización, ya que es el sello de garantía que la empresa ofrece a sus clientes, es el medio para obtener los resultados planeados,

Introducción

proporcionando satisfacción al consumidor como a los miembros de la organización en términos de rentabilidad e imagen frente a sus competidores. (Conway, W. F, 1988)

En las empresas que venden servicios, la calidad del producto consiste en los aspectos tangibles y cuantificables del servicio que a su vez también generan satisfacción. Proveer satisfacción a partir de calidad según la define el cliente, significa comprender perfectamente las dimensiones de la calidad: la calidad del producto y la calidad del servicio. (Conway, W. F, 1988)

En los últimos años el sector servicios, y específicamente el turismo como servicio puro, y en la construcción, específicamente en el sector de materiales constructivos (hormigón, aceros, etc.) ha experimentado un desarrollo muy significativo en la mayor parte del mundo, de esta forma en Cuba también ha alcanzado ritmos de crecimiento impresionantes, logrando conformar un producto del servicio industrial de calidad, competitivo y capaz de satisfacer las necesidades constructivas del turismo, de la industria y de la población.

La reestructuración de la industria cubana de la construcción, orientada hacia el objetivo estratégico de incrementar sus ingresos netos a partir de la diversificación del sector, máxima eficiencia y la disminución de los costos; se sustenta en los grupos de directivas generales establecidas para la producción industrial con relación a: Planificación, Producción, Control, Recursos Humanos y Medio Ambiente (López Figueredo, 2005). Las directivas referidas al Proceso productivo y al Control de producción, se refieren a:

- La organización basada en Normas Internacionales de la familia NC ISO-9000 y NC ISO 14 000.
- Programa de acciones concretas, utilizando las “Buenas Prácticas de Manufactura”.
- Control del Proceso de Producción basado en el cumplimiento del plan y de sus indicadores de eficiencia tanto tecnológicas como económicas; para lo que se establece:
 - Intensificar los controles de calidad.
 - Enriquecer el trabajo de los laboratorios de control, al constituir una herramienta fundamental para el control del proceso y del producto final.

Introducción

- Estructurar el control del proceso, en la medida de lo posible, a través del vínculo del resultado en cada punto de control con el resultado del trabajo de los hombres.
- Facilitar el control de cada proceso basado en las relaciones entre etapas sucesivas, relaciones entre áreas y que permitan conocer el comportamiento de los parámetros de operación.

Mientras estas situaciones constituyen retos para la industria de la construcción en Cuba, referencias sobre el monitoreo y regulación de proceso en industrias de partes y piezas (Nembhand & Valverde-Ventura, 2003) y de tratamiento de residuales (West & Dellana, 2002), reconocen que el control de proceso muestra serias ineficiencias, que demandan de la integración de las herramientas de Control Estadístico de Proceso y la Ingeniería de Control de Proceso; integración condicionada por tendencia a desaparecer, según Box & Luceño (1997), las líneas divisorias entre la industria de partes (origen del Control Estadístico de Proceso) y la industria de proceso (origen del Ingeniería de Control de Proceso); debido a que muchas producciones de la tecnología actual son híbridas, además del empuje de la revolución en la calidad, que ha llevado a las industrias líderes a experimentar con tecnología de control de otras; donde mejorar es más importante que considerar si los resultados actuales son buenos o malos; y presupone el conocimiento de conceptos y métodos, para el desarrollo de herramientas que permitan atenuar limitaciones de la organización y su equiparación con la dinámica del entorno, de tal forma que el cambio se traduzca en mejora.

Todo lo anterior demuestra la importancia que tiene en la actualidad trabajar por el mejoramiento de la calidad en las empresas manufactureras, y en el caso de Cuba tiene una significación especial por las exigencias del mercado; en específico la industria de la construcción como creadora de infraestructuras para el turismo, la producción, servicios hospitalarios, educacionales y demás, trabajando en el mejoramiento de la calidad de los procesos, analizando la posibilidad de:

- Considerar la utilidad de las técnicas del Paradigma Decisional Multicriterio para la toma de decisiones en la ejecución de mejoras en el proceso de control.
- La evaluación de variables organizacionales con énfasis en el desarrollo de proyectos de intervención basados en la Orientación Interna hacia la Calidad, para propiciar

Introducción

ambientes organizacionales como un instrumento que facilite el logro de mejoras de la calidad en los procesos industriales.

- La integración del Control Estadístico y la Ingeniería de Control, para el ajuste y regulación del proceso industrial.

A pesar de la utilización de toda una tecnología de punta para el manejo de la información, las empresas de materiales de la construcción no han tenido la capacidad de resolver por sí sola los problemas que se han ido presentando en la productividad, comercialización, solvencia, rentabilidad, prestación de los servicios ni del nivel de satisfacción de sus clientes.

Es por todo esto que se debe asumir a la calidad como una necesidad imperante, que basada en la mejora continua de los procesos y sistemas, conlleve a las empresas a la implantación, desarrollo y uso sostenido de los sistemas de gestión de la calidad que garanticen en cada una de las organizaciones el nivel de calidad necesario en sus procesos, para que sus productos y/o servicios en sus estados finales demuestren la fiabilidad, que como resultado sea obtenida de un proceso de producción y/o de los servicios con un marcado nivel de estabilidad.

Muchos estudios se han realizado en la esfera productiva, pero por el contrario en los servicios industriales no se ha profundizado tanto; donde existen marcadas diferencias con las empresas de fabricación. En la actualidad el sector de los servicios está atravesando por un ambiente dinámico en una época donde la mayor parte de las organizaciones son multidimensionales, llegando a ser bastantes complejas.

Como resultado de la manera de analizar y medir el Nivel de Estabilidad así como el grado de Control Estadístico de un Proceso de Prestación de los Servicios; es que se desarrolló este trabajo investigativo, donde se desarrolla un nuevo índice de capacidad, que evalúe con alto rigor al servicio, y sea basamento de futuras mejoras del proceso.

Situación Problemática

El desarrollo y conformación estadístico-matemática de los índices de capacidad de los procesos han derivado en toda una familia de ellos, con alta fiabilidad y severidad en sus evaluaciones. El empleo de datos primarios requiere de una alta tecnología de trabajo online y en tiempo real, para valorar y emplear el resultado de estos índices, que en

Introducción

ocasiones no es la característica del servicio industrial en la nación, en específico en el sector de materiales de la construcción. Los procedimientos, las correcciones y ajustes para la elevar la calidad de los procesos, tanto desde el nivel operativo como estratégico, se hacen de forma tal que no permiten describir adecuadamente las dimensiones y factores que intervienen en el desarrollo del proceso de fabricación y servicio de materiales como el hormigón. Esto deviene en muchas ocasiones en un deterioro de la satisfacción real de las necesidades de los clientes y la pérdida de los potenciales de mejoramiento, que se une a la no existencia de un procedimiento de la calidad que permita satisfacer de forma exitosa las necesidades y expectativas de los clientes, desde el punto de vista de la capacidad de los propios procesos, o a la sobrevaloración de los mismos.

Problema científico de la investigación.

Del análisis de la situación problemática planteada anteriormente surge el planteamiento del Problema Científico que reza:

El ***desarrollo de un nuevo índice de capacidad***, basado en las características y atributos de la distribución primaria de datos y las especificaciones del proceso de servicio, deviene en una evaluación más severa y el empleo de bases multicriteriales. Con ello es posible lograr una mejor orientación de los procesos hacia la mejora y la satisfacción de los clientes, lo cual se valora en esta investigación con elementos de simulación.

Hipótesis.

A partir del problema científico se formula la hipótesis de investigación siguiente:

Diseñar sobre bases estadístico-matemáticas un nuevo índice de capacidad que sea más riguroso que los anteriores, y se ajuste a la realidad de los datos primarios. Este índice se compara por medio de la simulación discreta con varios índices para demostrar su rigor y efectividad.

Para corroborar la hipótesis se plantea el sistema de objetivos siguientes:

Objetivo General.

El ***objetivo general*** de esta investigación es:

Introducción

Diseño sobre bases estadístico-matemáticas de un nuevo índice de capacidad que evalúe más rigurosamente los procesos y se ajuste al tipo de distribución muestral y sus momentos principales.

Objetivos específicos.

Como objetivos específicos que posibilitarán el cumplimiento del objetivo general se plantean:

1. Construir el marco teórico referencial de la investigación con los elementos necesarios para llevar a cabo la misma, procedentes de la consulta de la literatura internacional y nacional más actualizada, y que pueda ser utilizado como documento de referencia con fines docentes, metodológicos e investigativos posteriores en esta temática
2. Estructurar el análisis de forma tal que se desarrollen las bases algorítmicas para el futuro empleo de este índice y sus aplicaciones relativas a la regulación de los procesos.
3. Realizar simulaciones de los escenarios naturales de operación para este índice y comparar su evaluación, respecto a los índices de capacidad básicos para demostrar su rigor y efectividad.

Preguntas de investigación.

1. ¿En qué medida la revisión y búsqueda bibliográfica permite desarrollar la investigación que se propone?
2. ¿Qué teorías y conceptos de calidad se deben conocer para identificar problemas referentes al tema?
3. ¿Qué herramientas de la ingeniería de la calidad y control estadístico se pueden utilizar para determinar las bases del nuevo índice propuesto?
4. ¿Cómo se identifican las ventajas y rigor del nuevo índice respecto a los anteriores en diferentes escenarios de aplicación?

Tipo y diseño de investigación.

Una vez realizada la revisión de la literatura y definido los objetivos que se pretenden alcanzar en el estudio, se define el tipo y diseño de investigación que se llevará a cabo. Según su propósito, esta investigación es de tipo correlacional y explicativo, ya que tiene

Introducción

una alta dosis de desarrollo matemático y estadístico para el diseño de un nuevo índice de capacidad.

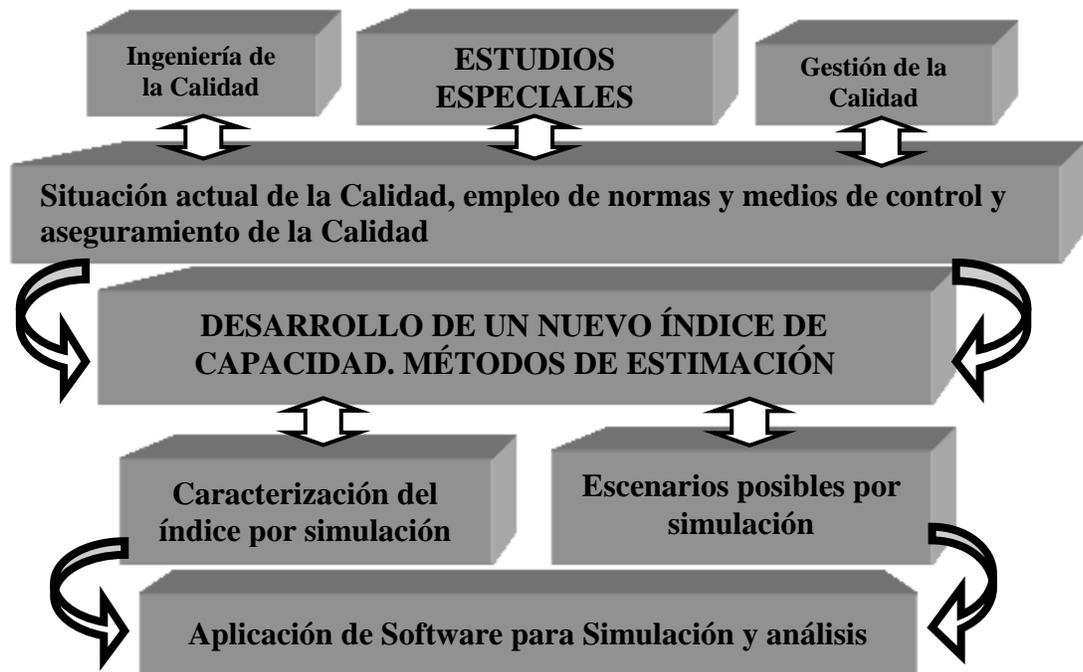
Estructura del Informe de Investigación

La presente Tesis está estructurada en tres capítulos:

- El capítulo I se consultó bibliografía referente al tema de investigación, citando la opinión de diferentes autores y sus aportes científicos.
- El capítulo II se realizara el diseño estadístico-matemático del nuevo índice, así como las demostraciones básicas.
- El capítulo III de la investigación recrea los diferentes escenarios de aplicación del nuevo índice, y por simulación de estos escenarios se compara con los índices básicos respecto rigor y severidad de las evaluaciones.

En la figura I se muestra el mapa conceptual de la Tesis

Mapa Conceptual de la Investigación.



Fuente: Elaboración propia del autor.
Figura I: Mapa Conceptual de la Tesis.

Justificación y viabilidad

Esta investigación se sustenta en la necesidad de mejorar la calidad de los servicios técnicos en la construcción y en los procesos de manufactura general, puesto que esto se traduce en una elevación de los ingresos a la economía cubana como sostén de otros renglones económicos.

Introducción

Es parte de una investigación de maestría, lo que contribuye a la disposición de los recursos necesarios para llevarla a cabo, en término de recursos humanos y materiales. Además se cuenta con parte de la información necesaria, y el resto es posible obtenerla con el apoyo de la entidad. Los métodos de investigación a emplear partirán para ello de la recopilación y estudio de fuentes bibliográficas reconocidas, y con el interés de la dirección en satisfacer las necesidades de sus clientes. El plazo previsto para la realización de la misma es suficiente.

Aportes

Aporte metodológico: Su valor teórico está dado por la posibilidad de construir un marco teórico o referencial, derivado de la consulta de la literatura nacional e internacional más actualizada como soporte teórico y guía a la investigación.

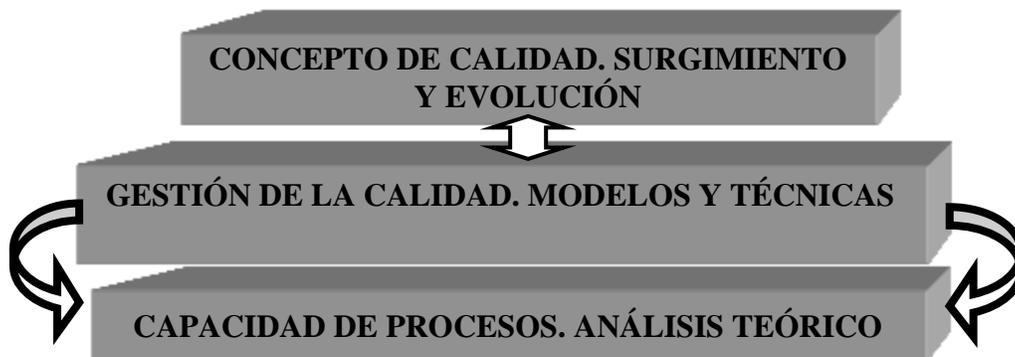
Aporte social: El análisis y diagnóstico de la capacidad de los procesos ayudará a mejorar la calidad de los servicios productivos y la manufactura, y permitirá detectar oportunidades de mejora de la calidad.

Capítulo 2

1 Marco Teórico y Referencial de la Investigación: Estado de la teoría y la praxis en el Análisis de la calidad. Estudios especiales de los procesos en este contexto.

1.1 Introducción.

El punto de partida de toda investigación lo constituye una completa revisión de los temas abordados, a través de la cual se adquiere un conocimiento general de las temáticas que proporcionan la base teórica para la caracterización del proceso seleccionado. Con el objetivo de obtener una guía que le proporcione conductividad al estudio se realizó el hilo conductor del marco teórico que se muestra en la figura siguiente:



Fuente: Elaboración propia del autor.
Figura 1.1: Hilo conductor del capítulo.

1.2 Conceptos de Calidad.

Tomando del Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia, el significado de Calidad tenemos que:

- Es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie.

La calidad es un tema de reciente desarrollo, ahora ya no se puede hablar de hacer las cosas bien sino mantener un nivel de calidad adecuado durante la realización de un producto o servicio. Existen diferentes definiciones de calidad, el uso de cada una depende del área en que se está trabajando. Anteriormente se creía que la calidad era demasiado costosa y por eso influía en las ganancias producidas por la empresa. Ahora se sabe que el buscar la calidad resulta en una baja en los costos de las empresas y una mayor ganancia.

Capítulo 2

Se ha discutido mucho la definición de calidad, ha pasado por varias etapas para identificar y aclarar estos conceptos y preparar algunos vocabularios. Debido a que estos no han sido extensamente adoptados (e incluso han circulado poco) hay gran dificultad en lograr la unanimidad en criterio cuando los especialistas se reúnen para resolver problemas.

Se considera que la Calidad es una ciencia porque tiene principios, conceptos, y definiciones que la hacen diferente a la hora de estudiarla. Es preciso entonces conocer los hombres que en el mundo han estudiado y trabajado esta ciencia con el fin de gestionar la calidad dentro de las empresas, estudiar sus filosofías y llegar a conclusiones de cómo la calidad debe ser aplicada en cada país, dentro de las diferentes ramas.

Se han seleccionado algunos de estos hombres los cuales son conocidos como Gurúes de la Calidad debido a los aciertos que han tenido en la industria utilizando esta disciplina. Estos hombres son presentados habitualmente, de la siguiente manera: William Edward Deming, norteamericano, matemático, quien revitalizó la industria japonesa; Joseph M. Juran, polaco, ingeniero eléctrico, al que se le ha acreditado de igual manera que a Deming parte del éxito de las compañías japonesas; Phillip Crosby, norteamericano, médico sicólogo, vicepresidente de la ITT durante 14 años para el Control de la Calidad; William E. Conway, norteamericano, consultor de calidad y discípulo de Deming; Armand V. Feigenbaum, norteamericano, presidente de la Academia Internacional de la Calidad; Kaoru Ishikawa, japonés, ingeniero químico, pionero e ideólogo indiscutible de los éxitos de la industria japonesa en materia de calidad.

Para gestionar la calidad es esencial saber ¿qué es la calidad? Estas definiciones es preciso obtenerlas de los estudios realizados por este grupo de hombres de primera línea, que utilizan la Gestión de la Calidad, obteniendo magníficos resultados, sin embargo no se ponen de acuerdo en qué es *calidad*, por lo cual es preciso estudiarlas para definir qué es calidad para cada uno de nosotros y cómo es preciso definir la calidad en cada país.

Al revisar sus definiciones de calidad, se encuentra que:

Capítulo 2

Deming [1986]; la define como un "*predecible grado de uniformidad, a bajo costo y útil para el mercado*". Lo cual es lógico teniendo en cuenta que es matemático y tratará siempre de cerrar las tolerancias de los procesos buscando una mayor uniformidad de los mismos.

Juran [1974]; [1983]; plantea como definición de calidad "*aptitud para el uso o propósito*". Más tarde **Juran [1993]**; aporta ya no una sino dos definiciones de calidad, una que se refiere al producto "*calidad es el conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y en consecuencia hacen satisfactorio el producto*" que coincide con la anterior en su conclusión y otra que se refiere a la organización "*La calidad consiste en no tener deficiencias*". No hay la menor duda de que para obtener calidad es preciso tener una organización que trabaje con calidad.

Crosby [1979]; [1987]; Su definición de calidad es "*conformidad a los requerimientos*", y añade que sólo puede ser medida por el costo de la no conformidad. Esta definición está limitada ya que depende de los requerimientos que se hayan considerado, si son los de los clientes o los de los productores, por lo que:

Crosby [1994]; puntualiza que calidad es "*entregar a los clientes y a nuestros compañeros de trabajo productos y servicios sin defectos y hacerlo a tiempo*". En este caso, considera dos tipos de clientes los internos y externos e involucra en la definición su filosofía de producir con cero defecto.

Conway [1988a]; [1988b]; plantea que la calidad se alcanza al "*desarrollar la fabricación, administración y distribución a bajo costo de productos y servicios que el cliente quiera o necesite*". Este autor en su definición hace referencia a la necesidad de observar la calidad del trabajo y desarrollar un sistema adecuado para obtenerla.

Feigenbaum [1971]; define la calidad como "*la resultante de una combinación de características de ingeniería y de fabricación determinantes del grado de satisfacción que el producto proporcione al consumidor durante su uso*", más tarde **Feigenbaum [1996][1997]**; plantea que calidad es "*un sistema eficaz para integrar los esfuerzos de mejora de la gestión de los distintos grupos de la organización para proporcionar productos y servicios a niveles que permitan la satisfacción del cliente*".

Ishikawa [1988]; manifiesta que "*calidad es aquella que cumple los requisitos de los consumidores*" e incluye el costo entre estos requisitos.

Capítulo 2

La **ISO 9000 [2005]** plantea que calidad es: *Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.*

Y añade dos notas:

Nota 1. El término calidad puede utilizarse acompañado de adjetivos tales como pobre, buena o excelente.

Nota 2. “Inherente” en contraposición a “asignado” significa que existe en algo, especialmente como una característica permanente.

En este caso la calidad depende de los requisitos que se planteen por los productores y si es cierto que los mismos satisfacen las necesidades de los clientes.

Como se observa algunos autores consideran la calidad referida al producto y dependiente de sus atributos o características, otros consideran que la calidad no es solamente atribuible al producto, sino que la calidad la conforma el sistema que tenga la organización y en el caso más amplio será una entidad, considerando la entidad como una actividad o proceso, un producto, una organización, un sistema, una persona, o alguna combinación de los anteriores. No obstante todos los autores consideran que con la calidad es preciso satisfacer las necesidades de los consumidores.

Es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades expresas (Malevski y Rozotto, **1995**; **Prando, 1996**). Las necesidades pueden incluir aspectos relacionados con la aptitud para el uso, seguridad, disponibilidad, confiabilidad, mantenimiento, aspectos económicos y de medio ambiente. (**Malevski y Rozotto, 1995**).

1.3 Surgimiento y evolución de la Calidad.

Si se remonta a la etapa preindustrial, y en particular a la producción por parte de los artesanos independientes, el artesano trataba directamente con el cliente, veía su reacción, conocía sus gustos y preferencias. Su trabajo integraba todas las operaciones de una empresa: concepción, diseño, fabricación comercialización, etc. La idea de la calidad estaba clara: residía en el juicio del cliente. La producción en serie, la industrialización, el “taylorismo”, etc., separaron las distintas funciones de la empresa y, con ello, la “idea de la calidad” perdió su vinculación directa con el cliente. En los años 30 se impusieron los métodos de control estadísticos, gráficos de control, etc., como

Capítulo 2

medios para medir y asegurar la calidad: nace así la “cultura del control”. Han hecho falta muchas décadas, para que volvamos al planteamiento de “calidad dirigida al cliente”.

Es evidente que poder llegar ahora a aplicar un modelo avanzado de gestión, o un sistema o metodología que trate de forma global todos los aspectos de calidad, tanto de productos y servicios, como de procesos, personas, herramientas, etc., contemplando mejoras de resultados, ha sido fruto de bastante tiempo de gestación y de un progreso continuo en el grado de madurez de las organizaciones a través de las últimas décadas.

El edificio que ahora se contempla se ha construido piedra a piedra. Ha llevado tiempo moldear y asimilar los sucesivos cambios de paradigma. Pero también es cierto que, analizando la esencia de estos modelos, aparentemente muy complejos, se descubrirá en ella las enseñanzas de verdaderos maestros “agentes del cambio”, que han trabajado poniendo estas piedras durante décadas.

Se entenderá por tanto que será muy interesante exponer lo más relevante de estas enseñanzas y someter a juicio su aplicabilidad práctica en el entorno cubano y de cualquier país. Seguramente sorprenderá la absoluta actualidad de planteamientos hechos por Deming, Juran, Feigenbaum y otros, hace ya bastantes años.

A partir de los años cincuenta y hasta la década de los setenta, el concepto de calidad tiene un gran desarrollo en Japón. En el contexto de la reconstrucción del país tras la Segunda Guerra Mundial, la presencia de dos teóricos norteamericanos de la calidad, E.W. Deming y J.M. Juran, contribuyó a la emergencia del sistema integral de gestión de la calidad denominado Company-Wide Quality Control. Se trata de un "sistema y estrategia de gestión que implica a todo el personal de la empresa en la mejora continua de la calidad de los productos y de los servicios" (López Rupérez, 1994). Por ello, puede decirse que el foco de atención de esta fase lo constituyó la participación de los trabajadores en la mejora de la calidad.

A mediados de los setenta y a lo largo de la década siguiente la gestión para la calidad adquiere un nuevo auge en los Estados Unidos y surgen nuevas asociaciones para la promoción de la calidad, como el *National Advisory Council for Quality* (NACQ) en 1982, y el *National Productivity Advisory Committee* (NPAC) en 1983. En 1987 se instituyó el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige.

Capítulo 2

El concepto de Calidad Total surgió en el mundo empresarial, concretamente en Japón, como control de calidad total, aparejado a otro concepto: justo a tiempo (Just in Time) luego pasó a los Estados Unidos de Norteamérica, y más tarde a Europa. No obstante, los primeros estudios sobre el control de calidad se llevaron a cabo en Estados Unidos en los años veinte, aunque no fue hasta principios de los cuarenta cuando E.W. Deming participa en el desarrollo de un proyecto de técnicas estadísticas para el control de calidad en las industrias. En esta primera fase, la preocupación principal la constituyó la calidad del producto que se medía con criterios definidos por la propia empresa.

Según Cantú (2006); la calidad ha evolucionado a través de cuatro etapas: Inspección o detección de errores, control estadístico de procesos o prevención, aseguramiento de la calidad y administración estratégica de la calidad.

En la etapa de inspección, la calidad se limitaba exclusivamente al conteo y separación de piezas o productos defectuosos para evitar que los productos no conformes llegaran al cliente. **(Fontalvo, 2007)**.

En el control estadístico de procesos, **(Cantú, 2006)** introduce el concepto de prevención de no conformidades. Por otro lado **(Fontalvo, 2007)** afirma que esta etapa se basa en la aplicación de herramientas estadísticas para la determinar las características y variaciones de los procesos.

En la etapa de aseguramiento de la calidad se busca tener procesos definidos, los cuales garantizan que los productos y servicios generados, cumplan con los requisitos de los clientes. **(Fontalvo, 2007)**.

Finalmente en la administración estratégica de la calidad, **(Cantú, 2006)** plantea que el sistema de calidad operará de forma integrada mediante la participación y compromiso de todos los miembros de la organización.

Esta última etapa trae consigo principios tales como evidencia objetiva, enfoque al cliente, mejora continua, enfoque de sistema para la gestión, participación del personal, liderazgo, relación beneficiosa con el proveedor y enfoque basado en los procesos. **(Fontalvo, 2007)**.

1.4 Gestión de la Calidad.

Para que haya Calidad en una organización, no es suficiente establecer los elementos de un concepto de la Calidad, definirlo y apropiarse de él; para lograr la Calidad es

Capítulo 2

necesario planificarla, fabricarla, controlarla, asegurarla y mejorarla permanentemente. La alta dirección solo puede lograr la Calidad si conoce y emplea verazmente la Gestión de la Calidad.

En la **ISO 9000:2005** se lee que *gestión* son las *actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización* y que esta última, la organización, es el conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones.

Principios de gestión de la calidad:

- *Enfoque al cliente:* Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes.
- *Liderazgo:* Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deberían crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.
- *Participación del personal:* El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.
- *Enfoque basado en procesos:* Un resultado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.
- *Enfoque de sistema para la gestión:* Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.
- *Mejora continua:* La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de ésta.
- *Enfoque basado en hechos para la toma de decisión:* Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.
- *Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor:* Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor. (ISO 9000:2000).

Este interés por la calidad ha motivado que pase a ser un elemento fundamental en el nuevo estilo de gestión de las empresas. La gestión de la calidad, **(Cáravez, 1998)**,

Capítulo 2

plantea que debe entenderse como el modo en que la dirección de la empresa planifica el futuro, implanta los programas y controla los resultados de la función de la calidad con vistas a su mejora permanente, *la gestión es un proceso dinámico, interactivo y eficiente; desarrollado por un órgano de dirección a través del empleo de grupos de personas y de su autoridad para el establecimiento, logro y mejora de los propósitos de constitución de la organización sobre la base del conocimiento de leyes y principios de la sociedad, la naturaleza humana y la técnica, así como de la información en general. (Pérez, 2006).*

Fases o etapas diferenciadas según **(Garvín, 1988)**:

- *La inspección.*
- *El Control de la Calidad.*
- *El aseguramiento de la Calidad.*
- *La dirección de la Calidad total. La inspección.*

Conceptos que se vierten en la norma **ISO 9000 [2005] Gestión** son las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. *Gestión de la Calidad* son las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad.

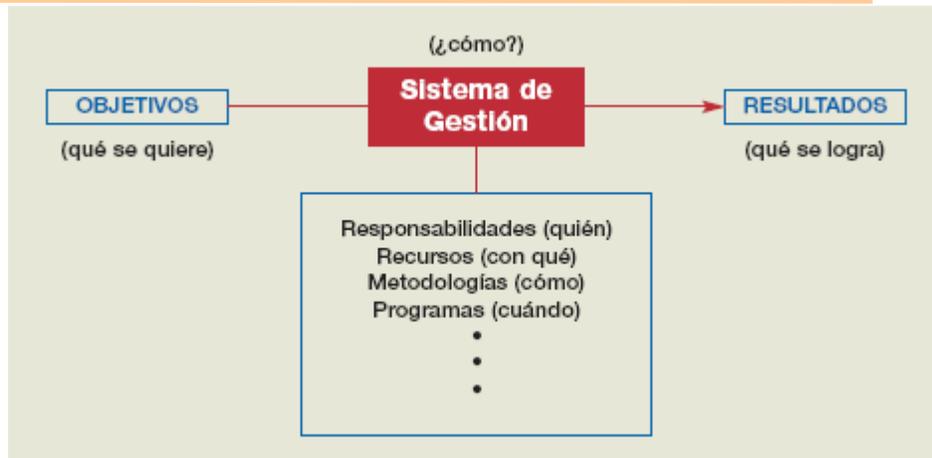
Principios de gestión de la calidad promovidos por las **ISO 9000** (*ver lo mencionado anteriormente*)

- *Enfoque al cliente.*
- ...
- ...
- *Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor.*

1.4.1 Principales modelos que acompañan la gestión de la calidad.

Un Sistema de Gestión, ayuda a una organización a establecer las metodologías, las responsabilidades, los recursos, las actividades que le permitan una gestión orientada hacia la obtención de esos “buenos resultados” que desea, o lo que es lo mismo, la obtención de los objetivos establecidos **(Tejedor, F. & Carmona, M. A. 2002)** como se muestra en la figura, a continuación:

Capítulo 2



Fuente: Tejedor, F. & Carmona, M. A. 2002
Figura 1.2: Sistema de Gestión de la Calidad.

Con esta finalidad, muchas organizaciones utilizan modelos o normas de referencia reconocidos para establecer, documentar y mantener sistemas de gestión que les permitan dirigir y controlar sus respectivas organizaciones. **(Tejedor, F. & Carmona, M. A. 2002).**

Mejoramiento de Procesos Ciclo de calidad de Deming.

- *Planificación del Mejoramiento:* Incluye la identificación de un problema u oportunidad de mejoramiento, el estudio y análisis del proceso, el planteamiento de metas de mejoramiento y el desarrollo de una solución y del plan para su implementación.
- *Ejecución del Plan:* Incluye la implantación de la solución en el proceso.
- *Chequeo de los Resultados:* Se estudian y verifican los resultados obtenidos y se genera información para la siguiente etapa.
- *Acción:* Corresponde a las decisiones que se toman como resultado de la comprobación de los resultados.

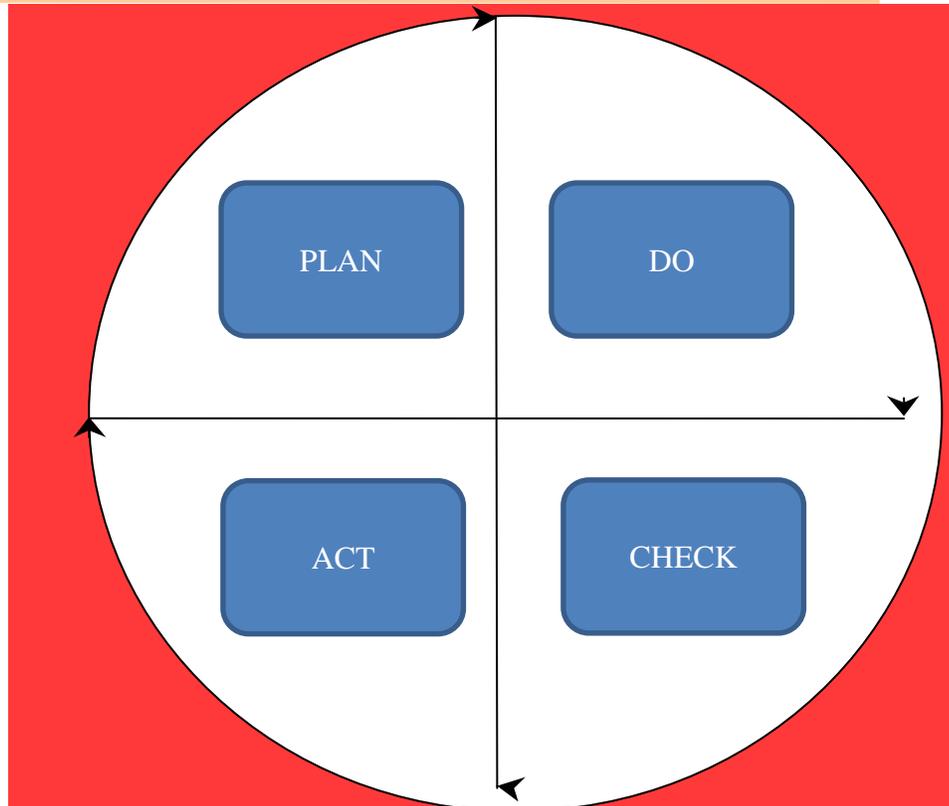


Figura 1.3: Ciclo de calidad de Deming (1950).

1.5 Técnicas utilizadas en el mejoramiento de la Calidad.

El éxito de los proyectos o actividades de mejoramiento de la calidad aumentan con la adecuada aplicación de herramientas y técnicas desarrolladas para estos propósitos.

En la actualidad existen diversos criterios en cuanto a las técnicas que deben ser empleadas en el proceso de mejoramiento. Algunos están orientados al empleo de técnicas estadísticas y otros al empleo de técnicas de dirección, sin embargo, los criterios más adecuados son aquellos que conjugan el empleo de ambos tipos de técnicas debido a que la calidad de un producto es la interacción de los factores económicos, productivos, humanos y sociales, entre otros.

¿Cómo reunir datos?

- *El propósito de reunir datos no consiste en traducir todo en cifras concretas sino en suministrar una base para adoptar medidas.*

¿Por qué reunirlos?

- *El proceso de fabricación sólo resultará correcto si se realiza una evaluación adecuada, para ello los datos recogidos en el lugar de trabajo son esenciales.*

Tipos de datos:

- *Datos para ayudar a comprender la situación real.*
- *Datos para el análisis.*
- *Datos para el control del proceso.*
- *Datos de regulación.*
- *Datos para aceptación o rechazo.*

Técnicas básicas utilizadas en el mejoramiento de la Calidad:

- *Diagrama de Pareto, permite el enfoque hacia los problemas fundamentales.*
- *Diagrama causa efecto o espina de pescado, permite encontrar y curar causas y no síntomas.*
- *Estratificación, nos facilita la conversión de los datos en información.*
- *Hoja de verificación, facilita el Conteo y acumulación de datos.*
- *Histogramas, nos permite el Centrado esparcimiento y forma del proceso.*
- *Diagrama de dispersión permite la medición de la relación entre variables.*
- *Gráficos de control facilita el Reconocimiento de las fuentes de variación.*

1.6 Sistema de Gestión de la Calidad.

El concepto de sistema tiene una larga historia y en la antigüedad se formuló ya la tesis de que *el todo, es mayor que la suma de las partes (Diccionario Filosófico 1980).*

Es importante atender lo que expone **Engels** en su definición cuando plantea que sistema es una estructura dinámica.

La Norma ISO 9001 especifica los requisitos para los sistemas de gestión de la calidad aplicables a toda organización que necesite demostrar su capacidad para proporcionar productos que cumplan los requisitos de sus clientes y los reglamentarios que le sean de aplicación, y su objetivo es aumentar la satisfacción del cliente.

La gestión de la calidad de una empresa u organización, definida anteriormente, necesita un sistema de apoyo para poderse llevar a cabo con efectividad.

Tal sistema de apoyo, al que llamaremos Sistema de Gestión de la Calidad, no puede existir por sí mismo, sino que debe estar integrado en los procesos, procedimientos, instrucciones de trabajo, mediciones y controles, etc., de las propias operaciones de la empresa.

Capítulo 2

Definición de Sistema de Gestión de la Calidad: sistema de gestión para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad. **(ISO 9000:2005)**.

El Sistema de Gestión de la Calidad, por lo tanto, está integrado en las operaciones de la empresa u organización y sirve para asegurar su buen funcionamiento y control en todo momento.

El sistema no se caracteriza sólo por la existencia de conexiones y relaciones entre sus elementos, basado en determinado grado de organización, sino también por una unidad indisoluble con el medio.

Sistema según Kant es una totalidad de conocimientos ordenados según un principio único.

Keisewetter plantea que es un conjunto de conocimientos ordenados de acuerdo a la idea de un todo y en los cuales domina por lo mismo la unidad.

El Sistema de Gestión de la Calidad proporciona además herramientas para la implantación de acciones de prevención de defectos o problemas (procedimiento de acciones preventivas), así como de corrección de los mismos (procedimiento de acciones correctoras). Incluye también los recursos, humanos y materiales, y las responsabilidades de los primeros, todo ello organizado adecuadamente para cumplir con sus objetivos funcionales.

Su misión no es explicar o demostrar sino coordinar y unir. Los materiales dispersos reciben del sistema nueva fuerza de cohesión que asegura su persistencia

En **la ISO 9000 (2005)** se plantea que sistema es un conjunto de elementos mutuamente relacionados que interactúan.

Gestionar de acuerdo a **(Espasa e hijos, 1995)** y **(Roque Barcia, 1945)** es hacer diligencias conducentes al logro de algún negocio y estas pueden cambiar en el transcurso del tiempo y de acuerdo al escenario donde se realiza dicho negocio.

Calidad tiene diferentes concepciones y perspectivas, de acuerdo a **(Fontalvo, 2007)**; la calidad es el conjunto de características inherentes a un producto o servicio que garantizan el cumplimiento de las necesidades y expectativas de los clientes, la empresa y la sociedad.

Capítulo 2

Por otro lado, **(Cantú; 2006)** hace referencia a la norma *ISO 8402* para definir el concepto de calidad como “la integración de características que determinan el grado de satisfacción de las necesidades del consumidor.”

Considerando las dos perspectivas planteadas, definimos la calidad como el conjunto de características que satisfacen los requisitos de los clientes mediante la implementación de procesos eficientes que contribuyen al desarrollo de una empresa competitiva.

Para definir el concepto de sistema de calidad **(Cantú, 2006)**, se enfoca en integrar un conjunto de técnicas y procedimientos para la planeación, control y mejoramiento de las actividades de la organización.

(Cuatrecasas, 2001) define este concepto como “el conjunto de procedimientos, procesos, recursos y responsabilidades que se establecen en la empresa para llevar a cabo la gestión de la calidad.”

Finalmente, definimos al sistema de gestión de la calidad como la articulación de la estrategia, la estructura organizacional y los productos o servicios generados. **(Fontalvo, 2007)**.

Se puede concluir, que es preciso tener un adecuado diseño de sistema de calidad, para alcanzar la *mejora continua* de la gestión del mismo.

1.6.1 Características de un Sistema de Gestión de la Calidad.

Su utilización debe dar confianza: Los implicados tienen que encontrar necesaria la sistematización de las actividades que en materia de calidad se realicen durante el trabajo, para evitar cometer errores, detectar defectos y para asegurar la uniformidad y para el mejoramiento continuo. Las actividades definidas por el sistema deben ser explicadas y asimiladas por los empleados.

Adecuación del sistema de gestión de la calidad: Cada empresa debe tener una organización adecuada a las características y nivel de calidad de los productos/servicios que suministra. En consecuencia cuando se diseña e implanta un sistema en una organización debe planificarse de acuerdo con sus características y ajustarse en todo lo posible a su estructura.

Capítulo 2

Debe definir e implantar la forma en que se realizan por cada persona las actividades relacionadas con la calidad:

- Que se pueda repetir su aplicación indefinidamente.
- Debe quedar definido el ámbito de su aplicación.
- Debe permitir realizar su evaluación de forma sistemática.

La implantación del sistema de gestión de la calidad es una actividad continua ya que debe adecuarse periódicamente para mejorar su eficacia, que debe ser medida a través de su evaluación. La estructura del sistema debe ser tal que permita una fácil evaluación y las acciones correctoras consecuentes, deben permitir una vez introducidas, conocer sus resultados a través de otra evaluación y la mejora continua.

1.6.2 Requisitos generales de un Sistema de Gestión de la Calidad (ISO9001:2000)

La organización debe establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar continuamente la eficacia de un sistema de gestión de la calidad de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional.

La organización debe:

- Identificar los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización.
- Determinar la secuencia e interacción de estos procesos.
- Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurar que tanto la operación como el control de estos procesos son eficaces.
- Asegurar la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estos procesos.
- Medir, realizar el seguimiento y analizar estos procesos.
- Implementar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.

La organización debe gestionar estos procesos de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional.

Capítulo 2

Los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad a los que se ha hecho referencia anteriormente deberían considerar los procesos para las actividades de gestión, provisión de recursos, realización del producto y mediciones.

En los casos en que la organización elija contratar externamente cualquier proceso que afecte la conformidad del producto con los requisitos, la organización debe asegurar el control sobre tales procesos. El control de dichos procesos contratados externamente debe identificarse en el sistema de gestión de la calidad.

1.6.3 Beneficios de los Sistemas de Calidad.

La implementación de los sistemas de calidad brinda los siguientes beneficios a la organización Centro de Desarrollo Industrial,s.f.;Encauze Consultores, s.f.; **(Cantú,2007):**

- Involucra y compromete a los trabajadores con la empresa.
- Aumenta el nivel de satisfacción y bienestar en los clientes.
- Minimiza y/o elimina el número de errores y reprocesos del sistema.
- Mejora el desempeño y la productividad de los trabajadores de la empresa.
- Maximiza el uso eficiente de los recursos (insumos, mano de obra y energía).
- Promueve, planifica y ejecuta el plan de mejora continua del sistema.
- Permite la reducción del tiempo de producción y de sus costos operativos.
- Mejora la administración y gestión de la información del sistema.
- Genera mayor participación de la empresa en nuevos mercados.
- Mejora el clima laboral e imagen institucional de la empresa.
- Permite la implementación de métodos de supervisión efectivos.
- Mejora la organización y control de las operaciones de la empresa.
- Mejora el poder de negociación de la empresa con los proveedores.
- Promueve la mayor atención de pedidos y mejores beneficios económicos.
- Aumenta la velocidad de respuesta del personal ante situaciones de peligro.
- Ayuda a cumplir con la normativa y requisitos de su respectiva industria.
- Aumenta la confianza en los productos y servicios que presta la empresa.
- Promueve la mejora e innovación de los procedimientos y operaciones.
- Proporciona oportunidades de capacitación y desarrollo a los trabajadores.
- Reduce la cantidad de mermas y/o desperdicios de los procesos productivos.

Capítulo 2

- Mejora la comunicación con los proveedores de materiales e insumos.
- Aumenta el grado de compromiso y adhesión del empleado con la empresa.
- Promueve el acercamiento y retroalimentación del cliente con la empresa.
- Permite la documentación y organización de las principales operaciones

1.7 Análisis de capacidad de proceso.

Se ha tomado como norma general lo siguiente sobre el análisis de la capacidad de los procesos:

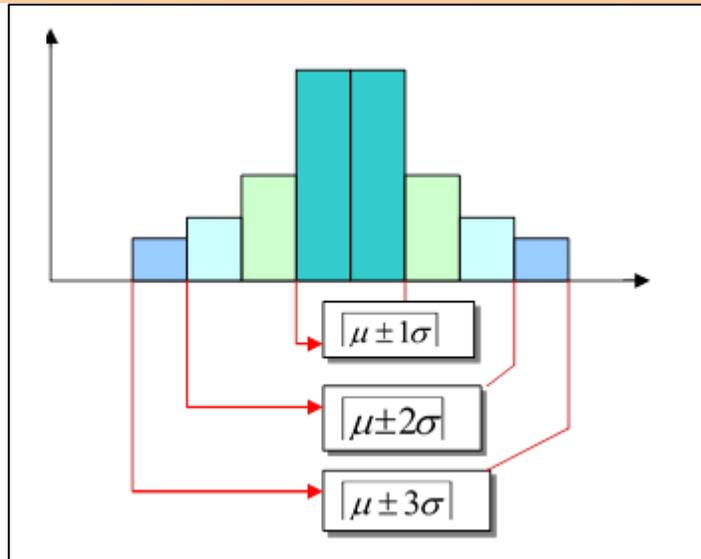
- Es una medida de la variabilidad de salida de un proceso contra los límites de especificación del mismo.
- Se considera un proceso capaz aquel que posea una amplitud de tolerancia natural lo suficientemente estrecha en comparación con las especificaciones para garantizar estas últimas con una alta probabilidad.

Según las consideraciones anteriores, para un proceso con un comportamiento según una Ley Normal de probabilidad o aproximadamente simétrico respecto al valor central, es decir, lo último sin rigor estadístico hablando que el Histograma de frecuencia correspondiente mantenga el comportamiento de la figura 1, entonces la Capacidad de un proceso quedaría definido como la razón de la Tolerancia Especificada y la Tolerancia Natural, esta última definida como seis veces la Desviación estándar del proceso, $\frac{USL - LSL}{6\sigma}$.

Este es el basamento de todo un conjunto de Índices de Capacidad entre los cuales se tienen:

C_p , C_{pu} , C_{pl} y C_{pk} , siendo estos los casos estándar.

Se propone a continuación un estudio de la concepción matemática de estos índices y su generalización no solo para los casos de la Ley Normal o comportamiento aproximadamente Normal sino también para el caso de una variedad de distribuciones de la Familia Pearson.



Fuente: Elaboración propia del autor.

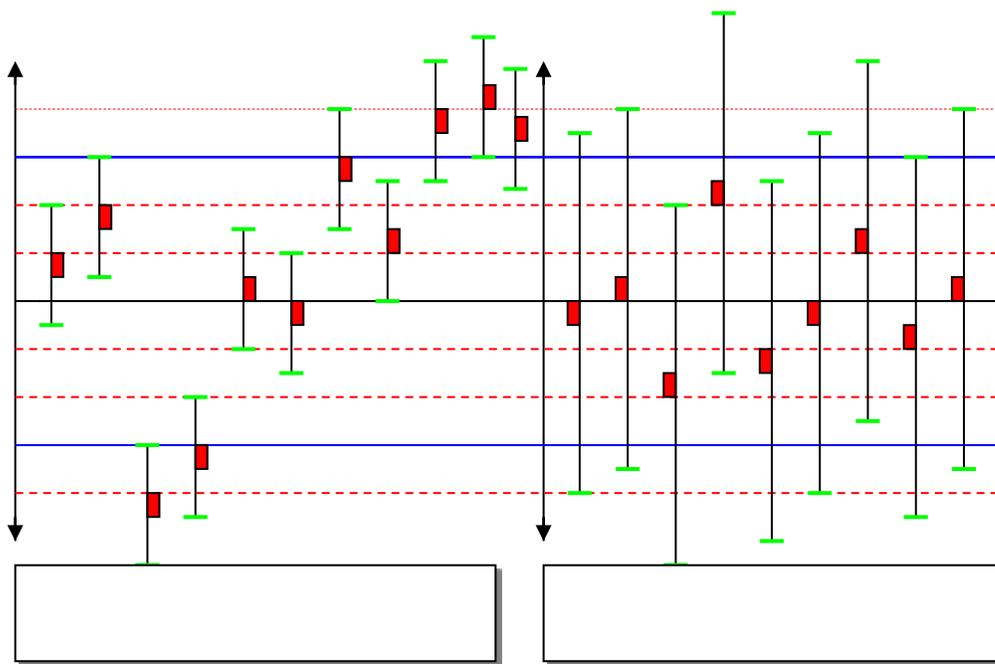
Figura 1.4: Comportamiento según ley Normal de un histograma de frecuencias.

1.7.1 Índices de Capacidad de los Procesos. Análisis teórico e ingenieril.

Esta técnica ha sido demostrada y fundamentada que un proceso fuera de control estadístico, muy difícilmente mantendrá sus especificaciones, pero la falta de control no solo va a estar denotada por variaciones en la media o tendencia del proceso, sino también por cambios en la dispersión del mismo, que es en algunos casos quien define la existencia de defectuosos.

Ahora bien, un proceso fuera de control por movimientos extraños de la media del mismo, ya sean periódicos o tendencias, pero que mantenga una dispersión prácticamente constante, de hecho conserva su nivel de capacidad, referido a los Índices Estándar antes mencionados.

Es decir, la mera comparación de la Tolerancia Especificada contra la Tolerancia Natural, es independiente del estado de control del proceso, siempre que la dispersión del mismo se mantenga a aproximadamente constante. Nótese este hecho en la figura 2, donde los segmentos de líneas verticales representan la variabilidad. En la sección a) de la mencionada figura se muestra que independientemente de la posición de la media del proceso este mantiene su Capacidad potencial, no así en la sección b).



Fuente: Elaboración propia del autor.
Figura 1.5: Estado de Control estadístico y Capacidad de los procesos.

El índice de Capacidad C_{pk} es una medida de la capacidad del proceso pero sobre la base de la desviación al Valor Medio de Tolerancia. Ya este índice no solo analiza la Capacidad potencial de un proceso sino su centrado.

Siguiendo el razonamiento clásico del análisis de la Capacidad de un Proceso, se puede decir que esta queda determinada por:

1. Los límites de Especificación.
2. La variabilidad del proceso y su comportamiento en el tiempo.
3. El centrado del proceso.

Este tercer factor queda en el marco del Control y Regulación de los Procesos, y prácticamente para la mayoría de los procesos el Centrado es un factor tiempo dependiente y necesita el constante SPC para su corrección.

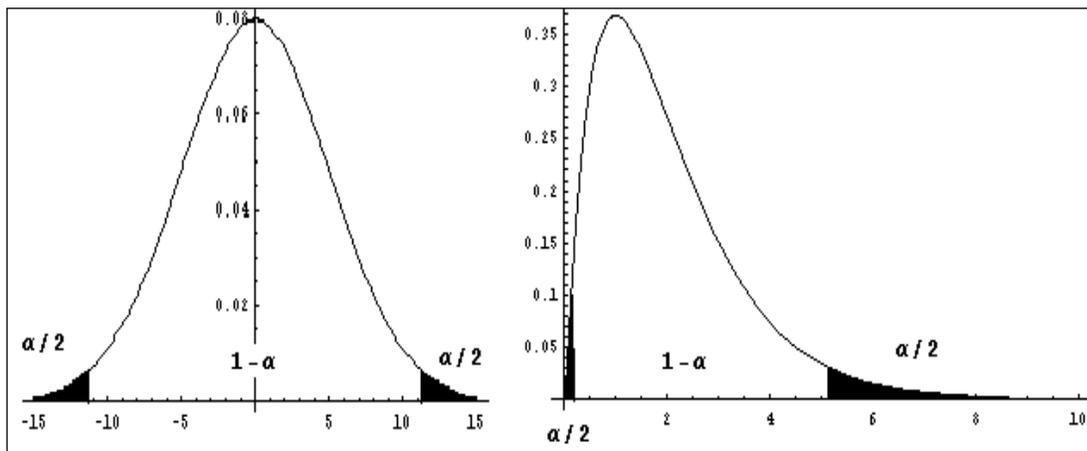
Lo anteriormente planteado determina que una condición necesaria para realizar una evaluación a priori de la Capacidad de un proceso es tan solo la Homocedasticidad. La mera verificación de este supuesto hace factible la valoración de la Capacidad Potencial

Capítulo 2

de los mismos siempre que se trabaje con Índices como Cp y Cpk, ya un análisis mas profundo requiere de otras condiciones como las de un estado de control.

La relación **6σ vs. USL-LSL** no hace referencia al centrado del proceso, sino solo a una Probabilidad, o estadísticamente hablando, a una amplitud de un Intervalo de Confianza del 99.73%, que ha sido internacionalmente la aceptación para el caso de la Ley Normal de Probabilidades. Con todo lo anteriormente expuesto se puede definir la capacidad de un proceso como la razón de la Tolerancia Especificada y el Intervalo de la variable analizada que a un 99.73% de confianza. Nótese que este Intervalo no es de los parámetros de la Ley que siguen los datos sino de la variable original.

Está a sido la idea inicial, pero a medida que los procesos tecnológicos avanzan y las propias exigencias de la producción aumentan en cuanto a la calidad, surge la tendencia a emplear la relación **8σ vs. USL-LSL**, implicando esto un nivel de confianza de 99.9936%.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Figura 1.6: Comportamiento de la zona de Tolerancia natural para diferentes distribuciones.

En la figura 1.6 se puede apreciar que la cantidad especificada por un índice de Capacidad no refleja el mismo comportamiento al trabajar con la Ley Normal que con la Familia de Distribuciones de Pearson correspondiente a la variable bajo estudio. En el próximo capítulo se verán los métodos generales de obtener la capacidad de los procesos y la creación de un nuevo índice de capacidad que sea más severo, es decir, evalúe más rigurosamente a los procesos productivos y de servicios.

1.8 Conclusiones parciales

Una vez revisado el estado de la praxis y de la ciencia sobre la Calidad y su Gestión, la praxis de la ingeniería y los estudios especiales, en específico, los análisis de Capacidad, se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Es de significativa importancia realizar un estudio en cuanto a las prácticas y utilización de las herramientas de estudios especiales de los procesos, para comprender la esencia de las mismas y valorar el desarrollo de nuevos procedimientos y métodos.
2. En la literatura consultada se plantean varios índices de capacidad, los cuales ya son clásicos o tradicionales en la praxis industrial, sin embargo, no se emplean en muchos servicios industriales, y se evidencian necesidades de lograr más rigor en cuando a las evaluaciones que se hacen a través de los mismos.

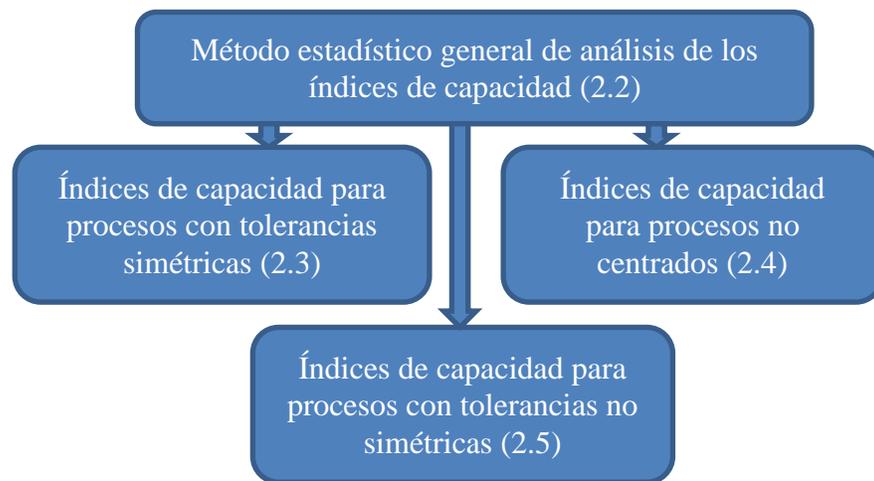
Capítulo 2

2 Caracterización general de los índices de Capacidad. Estudio Teórico de su desarrollo y aplicaciones metrológicas según tipos de tolerancias

2.1 Introducción

El objetivo de este Capítulo es analizar las bases matemáticas sobre las cuales se obtienen los índices de capacidad. Las relaciones de la estadística inferencial, en específico la estimación por intervalos de confianza son de amplia utilización. Una aproximación general con funciones no normales es empleada sin considerarla exacta, pero útil a los fines prácticos.

El hilo conductor de este capítulo se muestra en la figura 2.1.



Fuente: Elaboración propia del autor
Figura 2.1: Hilo conductor del Capítulo II

2.2 Método general para la valoración de la Capacidad de los procesos.

Como se analizó anteriormente existe una relación estadística entre el Índice de Capacidad de un Proceso y el Intervalo estadístico al 99.73% u otro nivel de la variable bajo estudio. Es conocido que el valor promedio de cualquier variable aleatoria, independientemente de la Ley Probabilística se ajusta a una Ley Normal con parámetros (μ, σ^2) , donde $\mu = E(\bar{x})$ y $\sigma^2(\bar{x}) = \sigma^2(x)/n$. Bajo estas premisas se planteara un primer método de obtención de los Intervalos a los cuales se hacía anteriormente referencia y claro esta valido a la Ley Normal de Probabilidades.

Capítulo 2

2.2.1 Primer Método

1. Hallar un estimador del parámetro μ de la Distribución Normal. En este caso es

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2. Hallar la distribución de dicho estimador. Según la Prueba 1, sección I de Demostraciones queda comprobado que la construcción $\bar{x} \approx N(\mu, \sigma^2 / n)$.
3. Hallar una función $h(w, \theta)$, donde w es el estimador y θ el parámetro, tal que la distribución de esta función no dependa del parámetro θ . también puede depender de otros estimadores como S .
4. Al ser $h(w, \theta)$ independiente de θ , se pueden encontrar h_1 y h_2 tales que:
 $P(h_1 < h(w, \theta) < h_2) = 1 - \alpha$.
5. Dependiendo del conocimiento previo de la desviación estándar o su estimador

entonces

$$\begin{array}{ll} \sigma \text{ conocida} & h_1 = Z_{p1}; \quad h_2 = Z_{p2} \\ \sigma \text{ desconocida} & h_1 = t_{p1;n}; \quad h_2 = t_{p2;n} \end{array}$$

6. Construcción del Intervalo y sustitución de la Desviación Standard de la variable Promedio por la de los valores individuales.

A continuación se desarrollara el método para el caso de la Ley Normal.

$$x \Rightarrow N(\mu, \sigma^2)$$

1. $w = \hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

2. $w \Rightarrow N(\mu; \sigma^2)$

3. $h(\bar{x}; \mu) = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$; nótese que $h(\bar{x}; \mu) \Rightarrow N(0;1)$ o también se puede emplear

$$h(\bar{x}; s; \mu) = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}; \text{ donde } h(\bar{x}; s; \mu) \Rightarrow t_{n-1};$$

4. Según sea conocida o no el valor de σ , se empleara respectivamente:

- $P(h_1 \leq h(\bar{x}; \mu) \leq h_2) = 1 - \alpha / 2$
- $P(h_1 \leq h(\bar{x}; s; \mu) \leq h_2) = 1 - \alpha / 2$

Capítulo 2

5. Según la correspondiente distribución de la construcción estadística anterior se empleara:

- $h_1 = Z_{\alpha/2} ; h_2 = Z_{1-\alpha/2}$
- $h_1 = t_{n-1; \alpha/2} ; h_2 = t_{n-1; 1-\alpha/2}$

6. El intervalo al nivel de significación α para la variable en estudio será respectivamente:

- $\left\{ \bar{x} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + Z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right\} \Rightarrow \{ \bar{x} + Z_{\alpha/2} \sigma ; \bar{x} + Z_{1-\alpha/2} \sigma \}$
- $\left\{ \bar{x} + t_{n-1; \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + t_{n-1; 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \right\} \Rightarrow \{ \bar{x} + t_{n-1; \alpha/2} S ; \bar{x} + t_{n-1; 1-\alpha/2} S \}.$

El método anterior es generalizable a todas las variables aleatorias continuas y la aproximación a la Ley Normal de probabilidades es siempre factible cuando la cantidad de datos es grande. Sobre este tema no se planteara ningún requisito ya que los mismos son del uso habitual por el Control estadístico de la Calidad en las empresas, y existen Normas y publicaciones con las recomendaciones sobre la cantidad necesaria de datos o Mediciones para llevar cabo la aproximación a la Ley Normal.

La simetría impuesta a estas variables por la aproximación a la Ley Normal implica que los análisis estarán permeados por cierto grado de inexactitud en las estimaciones y sumando esto al efecto propio de la Incertidumbre de las mediciones implicarían ya un análisis no objetivo de la verdadera capacidad de los procesos de fabricación.

Para el caso de la Ley Normal de probabilidades, las variaciones en uno u otro sentido alrededor de la media del Proceso (y considerando este centrado en la Tolerancia media), se detecta trabajando con índices como Cpk, y es equivalente para cualquier sentido de la desviación, pero esto tendrá un significado totalmente diferente para otras distribuciones.

Es por lo anterior que se planteara un segundo método para la búsqueda de la capacidad de los procesos empleando la Familia de Distribuciones de Pearson según el ajuste de los datos reales.

Capítulo 2

2.2.2 Segundo Método

1. Seleccionar el estimador de la tendencia central de la variable bajo estudio, en este caso se recomienda la media muestral y no del valor esperado de la variable según la Ley de probabilidad correspondiente, ya que esta última llevaría en muchos casos a funciones dependientes de otros estimadores según el tipo de Distribución.
 - $w = \bar{x}$.
2. Obtener la función de Distribución del estimador seleccionado.
 - $F_w(w; \theta) = P(w \leq W) = 1 - \alpha$.
3. Obtener los componentes del Intervalo correspondientes:
 - $X_{\text{inf}} = F_{w(\alpha/2)}^{-1}(w; \theta)$
 - $X_{\text{sup}} = F_{w(1-\alpha/2)}^{-1}(w; \theta)$
4. Construir el Intervalo.
 - $\{F_{w(\alpha/2)}^{-1}(w; \theta) ; F_{w(1-\alpha/2)}^{-1}(w; \theta)\}$.

A continuación se desarrollara este método para el caso de la Ley Uniforme de probabilidad.

$$x \Rightarrow U(\theta)$$

1. $w = \max(x_1; x_2; \dots; x_n)$; este es el estimador del parámetro θ de la Ley Uniforme de probabilidad.
2. La función de Distribución del estimador seleccionado es:

$$F_w(w; \theta) = P(w \leq W) = P(\max(x_1; x_2; \dots; x_n) \leq W)$$

$$F_w(w; \theta) = P(x_i \leq W) \text{ para todo } i[1..n]$$

$$F_w(w; \theta) = P(w \leq W) = \frac{W}{\theta} ; \text{ lo cual resulta de } \int_0^w \frac{1}{\theta} dx = \frac{W}{\theta}$$

3. Los componentes se obtienen haciendo W como función de θ , es decir, la función inversa.

$$X_{\text{inf}} = F_{w(\alpha/2)}^{-1}(w; \theta) = \hat{\theta} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

$$X_{\text{sup}} = F_{w(1-\alpha/2)}^{-1}(w; \theta) = \hat{\theta} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right)$$

Capítulo 2

4. El intervalo será:

$$\left\{ \max(x_1; x_2; \dots; x_n) \left(\frac{\alpha}{2}\right) ; \max(x_1; x_2; \dots; x_n) \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \right\}.$$

La Tabla 2.1 que a continuación se muestra, es un resumen de la expresión de cálculo del Intervalo de Tolerancia natural de los procesos para valores para el nivel de confianza $1-\alpha$ y para diferentes Distribuciones Probabilísticas.

Tabla 2.1: Expresión de cálculo del índice de Capacidad Cp basada en el valor esperado

Distribución	Límites Inferior y Superior	Tolerancia (1- α)
Normal	$X \text{ inf} = \bar{x} + Z_{\alpha/2} \sigma$ $X \text{ sup} = \bar{x} + Z_{1-\alpha/2} \sigma$; para σ conocida	$2Z_{1-\alpha/2} \sigma$
	$X \text{ inf} = \bar{x} + t_{n-1; \alpha/2} S$ $X \text{ sup} = \bar{x} + t_{n-1; 1-\alpha/2} S$; para σ desconocida	$2t_{n-1; 1-\alpha/2} S$
Uniforme	$X \text{ inf} = \max(x_1; x_2; \dots; x_n) (\alpha/2)$ $X \text{ sup} = \max(x_1; x_2; \dots; x_n) (1 - \alpha/2)$	$\max(x_1; x_2; \dots; x_n) (1 - \alpha)$
Exponencial	$X \text{ inf} = -\bar{x} \ln(1 - \alpha/2)$ $X \text{ sup} = -\bar{x} \ln(\alpha/2)$	$\bar{x} \ln\left(\frac{2}{\alpha} - 1\right)$
LogNormal	$X \text{ inf} = E^{m + \sqrt{2}S \text{ Erf}^{-1}(0; \alpha-1)}$ $X \text{ sup} = E^{m + \sqrt{2}S \text{ Erf}^{-1}(0; 1-\alpha)}$ <i>donde</i> $\text{Erf}(z_0; z_1) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{z_0}^{z_1} E^{-t^2}$ $m = \bar{x}_{\log} + \frac{1}{2} S^2$	$X \text{ sup} - X \text{ inf}$
Gamma	$CDF = 1 - \frac{\Gamma(\text{alpha}; \frac{x}{\beta})}{\Gamma(\text{alpha})}$ $X \text{ inf} = CDF^{-1}(\text{alpha}; \beta; \alpha/2)$ $X \text{ sup} = CDF^{-1}(\text{alpha}; \beta; 1 - \alpha/2)$ <i>donde :</i> $\Gamma(\text{alpha}; \frac{x}{\beta}) = \int_{\frac{x}{\beta}}^{\infty} t^{\text{alpha}-1} E^{-t} dt$	$X \text{ sup} - X \text{ inf}$
Weibull	$X \text{ inf} = -b(\ln(1 - \alpha/2))^{1/a}$ $X \text{ sup} = -b(\ln(\alpha/2))^{1/a}$	$b [(\ln(1 - \alpha/2))^{1/a} - (\ln(\alpha/2))^{1/a}]$

Capítulo 2

Rayleigh	$X \text{ inf} = \sqrt{2}\sigma\sqrt{-\ln(1-\alpha/2)}$ $X \text{ sup} = \sqrt{2}\sigma\sqrt{-\ln(\alpha/2)}$	$\sigma\left(\sqrt{-2\ln(\alpha/2)} - \sqrt{-2\ln(1-\alpha/2)}\right)$
Beta	<p><i>CDF = Beta Regularized (x; alpha; beta)</i></p> $CDF = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \int_0^x t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt$ $X \text{ inf} = CDF^{-1}(\alpha; \beta; \alpha/2)$ $X \text{ sup} = CDF^{-1}(\alpha; \beta; 1-\alpha/2)$ <p>donde :</p> $CDF^{-1} = \text{Beta Regularized}^{-1}$	$X \text{ sup} - X \text{ inf}$

2.3 Índices de Capacidad para procesos con Tolerancias simétricas.

Dos de los índices de Capacidad de los procesos son los más ampliamente utilizados, estos son C_p y C_{pk} . La elección entre C_p y C_{pk} depende de si el proceso se considera centrado o no, es decir, si existe una coincidencia entre la media del proceso y la Tolerancia Media, y como es lógico dependiendo del tipo de especificación (bilateral o unilateral).

El índice C_p se emplea tan solo cuando se considera el proceso como centrado y las especificaciones bilaterales, y el mismo queda definido como:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \dots\dots 1$$

Donde:

USL: Límite de especificación superior

LSL: Límite de especificación inferior

σ : Desviación Standard o un estimador (S o \bar{R}/d_2)

Como se demostrará posteriormente es recomendable este tipo de índice siempre que la distribución mantenga un comportamiento aproximadamente Normal, estadísticamente demostrado o por tan solo el análisis gráfico según se presentaba en la figura 1. Es lo anterior coincidente con una medida de la Skewness cercana al 0 y de la Kurtosis

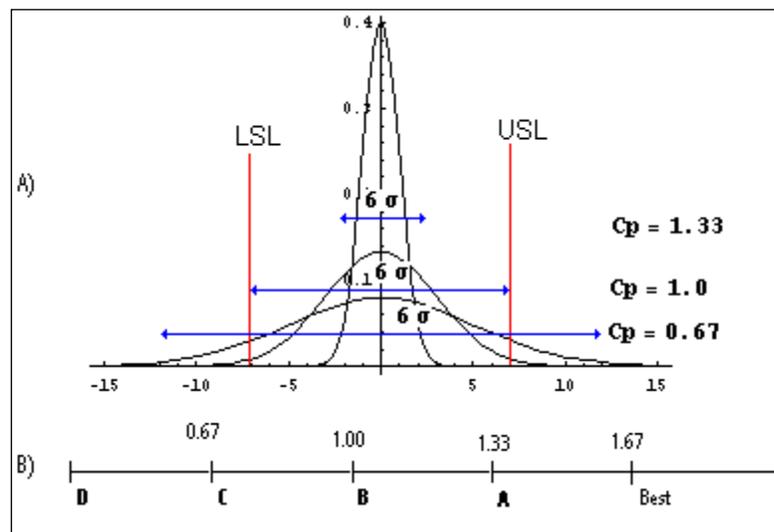
Capítulo 2

cercana a 3, lo cual coincide con la simetría y la extensión que caracteriza el comportamiento Normal.

Para este caso un valor de $C_p = 1$, indica que existe una coincidencia entre 6σ y la Tolerancia especificada, lo que de forma probabilística denota que un 99.73% de los valores de la distribución se encuentra dentro de los límites especificados. Esta es la probabilidad que se obtendría bajo la consideración de normalidad, pero este resultado no sería igual al emplear las distribuciones correspondientes al sistema de Pearson, es decir, que para esa misma probabilidad existirán variaciones en los límites de tolerancia natural, lo cual estaría influenciado por la asimetría (Skewness) y el achatamiento (Kurtosis) de la Distribución.

Esta ampliamente aceptado, y se considera como práctica común, que el intervalo al 99.73% de confianza de la variable bajo estudio, sea la Tolerancia Natural del Proceso o el correspondiente a la variable. En este caso correspondería un 0.135% a cada extremo fuera de estos límites.

En la figura 4 a. se muestra de manera gráfica el comportamiento de la Distribución de los datos contra la Tolerancia Especificada, para diferentes valores del índice C_p . En la sección b de la mencionada figura se plantea una escala de clasificación de los procesos según el nivel de C_p .



Fuente: Elaboración propia del autor
Figura 2.2: Clasificación de los procesos según el índice.

Capítulo 2

La demostración gráfica y analítica de la expresión de la función de probabilidad asociada al índice de capacidad prueba que la probabilidad asociada a un valor determinado del índice C_p y considerando el proceso centrado viene dada por:

$$P_{C_p}(C_p) = \begin{cases} 1 - 2 \int_{3C_p}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} E^{-t^2/2} dt = \text{Erf} \left[\frac{3C_p}{\sqrt{2}} \right]; & C_p > 0 \\ 0; & \text{otros valores} \end{cases} \quad \text{.....2}$$

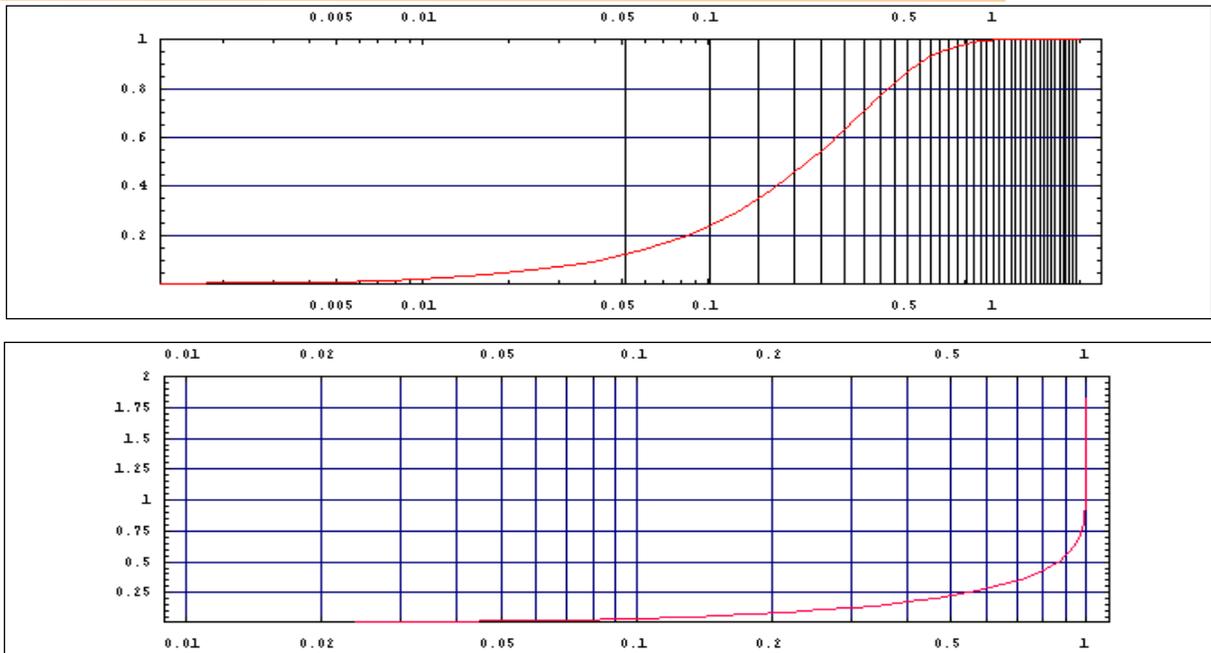
Donde:

Erf : es la función de error definida como
$$\text{Efr}[z] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z E^{-t^2} dt .$$

La gráfica de la función anterior, se presenta en la figura 5 de una forma estandarizada según la relación T/σ , de acuerdo a la cual se obtiene el correspondiente valor del índice C_p y de la probabilidad asociada. También dada una probabilidad quedaría determinada la relación T/σ correspondiente y el valor de C_p . La escala que se emplea esta linealizada sobre base logarítmica, aunque es de notar que para valores cercanos a la unidad existe una concentración de importantes valores de C_p .

En la parte a) de la figura 2.3 se representa en la escala horizontal los diferentes valores de C_p y la escala vertical representa la probabilidad correspondiente según ecuación 2, en la parte b) de la mencionada figura se presenta la solución inversa de la ecuación 2, que resulta en $C_p[p] = \frac{\sqrt{2}}{3} \text{Erf}^{-1}[0, p]$, es decir, por la escala horizontal los niveles de probabilidad y por la vertical el valor de C_p correspondiente.

Capítulo 2



Fuente: Elaboración propia del autor

Figura 2.3: Probabilidad y Cp según relación T/σ a) Cp vs. Probabilidad, b) Probabilidad vs.Cp.

2.4 Índices de Capacidad para procesos no centrados.

Como se mencionó anteriormente existen varios índices de capacidad de los procesos siendo el **Cp** el más conocido pero solo determina la capacidad potencial de un proceso y bajo el supuesto del que el mismo es centrado en la Tolerancia media y esta es simétrica. Cuando este no es el caso se emplean otros índices entre los que se encuentran: [1, 2, 3]

$$Cpk = \min(Cpu; Cpl)$$

donde :

$$Cpu = \frac{(USL - \bar{x})}{3\sigma}$$

$$Cpl = \frac{(\bar{x} - LSL)}{3\sigma}$$

$$Cpk = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sigma}$$

.....3

Cuando el proceso es centrado, es decir, coincide el valor de \bar{x} con el valor medio de Tolerancia (M), entonces $Cpu = Cpl$ y por tanto $Cpk = Cp$, de otra forma la relación de Cpk con Cp es:

Capítulo 2

$$Cpk = (1 - k)Cp$$

donde

$$k = \frac{|M - \bar{x}|}{T/2}$$

$$M = (USL + LSL)/2$$

Otro importante índice de Capacidad empleado es el **Cpm** [1, 2, 3, 6] cuya definición es:

$$Cpm = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} \quad \dots\dots 4$$

Donde:

S es el valor Nominal de la especificación.

Obtener un índice de Capacidad que sea más sensible que **Cpk** y **Cpm** a las desviaciones de la media del proceso respecto al valor Medio de Tolerancia (M) y al Valor Nominal de Especificación (S) ha sido tratado por varios autores y no es más que la combinación de ambos índices. [4, 5, 6]

$$Cpmk = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} \quad \dots\dots 5$$

Los parámetros del proceso μ y σ son usualmente desconocidos y se emplean los estimadores correspondientes. Un hecho a destacar es la sensibilidad de los índices anteriores a los cambios en la media del proceso, a la variabilidad del mismo o a la desviación del valor Nominal de especificación.

Para el estudio de esta sensibilidad se partirá de un caso de estudio con los siguientes datos:

$$USL = 90mm; \quad LSL = 70mm; \quad S = 80mm; \quad \sigma = 3mm .$$

Haciendo variar la media de salida del proceso \bar{x} desde 80mm a 84.0mm se obtienen los siguientes datos comparativos del comportamiento de cada índice.

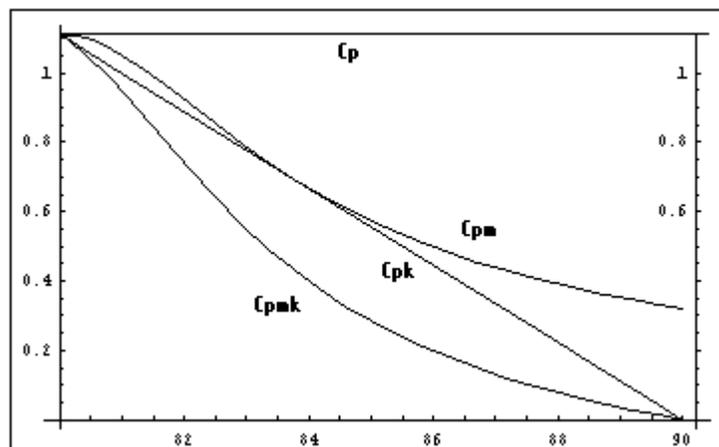
Capítulo 2

Tabla 2.2: Valores de comparación para un caso real

\bar{X}	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmk}	Probability
80.	2.	2.0000	0.63245553	0.632455	1.973175345337807 ⁻⁹
80.5	2.	1.9000	0.69462871	0.659897	6.139194264065395 ⁻⁹
81.	2.	1.8000	0.76923076	0.692307	3.334100640017823 ⁻⁸
81.5	2.	1.7000	0.85986716	0.730887	1.698293408680662 ⁻⁷
82.	2.	1.6000	0.97128586	0.777028	7.933284530414753 ⁻⁷
82.5	2.	1.5000	1.10940039	0.832050	3.397673156713132 ⁻⁶
83.	2.	1.4000	1.28036879	0.896258	0.000013345749019011
83.5	2.	1.3000	1.48658829	0.966282	0.000048096344017811
84.	2.	1.2000	1.71498585	1.028991	0.000159108590157552

Las curvas correspondientes a las funciones de cada uno de estos índices para los datos del caso de estudio se muestran en la figura 6. Es de notar que el índice de Capacidad **C_p** depende solo del valor de la Tolerancia especificada y de la desviación inherente del proceso, sin embargo es insensible a las desviaciones del valor Nominal especificado razón por la cual es una línea horizontal (considerando la variabilidad constante).

Analizando el comportamiento del índice **C_{pmk}** se puede apreciar que es el de mayor sensibilidad tanto para los cambios respecto al valor medio de Tolerancia como a las desviaciones del valor Nominal de especificación. En este caso se analiza la sensibilidad como la severidad con que un índice evalúa a un proceso para los diferentes cambios que ocurren



Fuente: Elaboración propia del autor

Figura 2.4: Curvas de los índices C_p , C_{pk} , C_{pm} y C_{pmk} para las condiciones reales.

Capítulo 2

Todos los índices anteriores tienen relación con el índice C_p presentándose a continuación la relación correspondiente que es válida para el caso de Tolerancias simétricas al valor Nominal de especificación, es decir, cuando:

$$S = M = (USL + LSL) / 2 \quad \text{.....6}$$

Haciendo la variable $y = (S - \bar{x}) / \sigma$ y sustituyendo en $C_{pk} = (1 - k)C_p$ se obtiene:

$$C_{pk} = \left(1 - \frac{\sqrt{(S - \bar{x})^2}}{(USL - LSL) / 2}\right) C_p$$

$$C_{pk} = \left(1 - \frac{2\sigma\sqrt{y^2}}{(USL - LSL)}\right) C_p \quad \text{.....7}$$

Sustituyendo en la ecuación 4 se obtiene:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + y^2\sigma^2}} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2(1 + y^2)}}$$

$$C_{pm} = \left(\frac{1}{\sqrt{1 + y^2}}\right) C_p \quad \text{.....8}$$

Sustituyendo en la ecuación 5 se obtiene:

$$C_{pmk} = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2 + y^2\sigma^2}} = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2(1 + y^2)}}$$

$$C_{pmk} = \frac{\min(USL - \bar{x} ; \bar{x} - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2}\sqrt{1 + y^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + y^2}} C_{pk}$$

$$C_{pmk} = \left(\frac{1 - \frac{2\sigma\sqrt{y^2}}{T}}{\sqrt{1 + y^2}}\right) C_p \quad \text{.....9}$$

Estas formas anteriormente presentada representan en que cuantía son más sensibles los diferentes índices respecto al valor de C_p . Un análisis de cualquiera de las ecuaciones anteriores demuestra que los índices de Capacidad disminuyen con el aumento de σ o con el aumento de la diferencia $(S - \bar{x})$.

Capítulo 2

2.5 Índice de Capacidad para los procesos con Tolerancias asimétricas.

Son pocos los artículos dedicados al caso de las Tolerancias asimétricas respecto al valor Nominal de Especificación. En la introducción de los índices C_{pk} y C_{pm} por **Kane y Chan** en 1986, estos fueron solo un intento para los casos en que $S = M$, pero también sugirieron los siguientes índices para estos casos:

$$C_{PK}^* = \frac{d - |R - M| - |\bar{x} - S|}{3\sigma} \quad \text{.....10}$$

$$C_{PM}^* = \frac{d - |S - M|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} \quad \text{.....11}$$

Se analizarán a continuación diferentes formas de los índices **C_{pm}**, **C_{pk}** y **C_{pmk}** de forma estandarizada y su imagen gráfica en tres coordenadas cartesianas. En los análisis siguientes se considerará el caso extremo de $C_p = 1$, es decir, $(T/6\sigma) = 1$, por lo que la relación será siempre mayor o igual a la unidad, ya que valores inferiores carecen de importancia en las condiciones de fabricación modernas, solo se valorarán bajo estos análisis, procesos con una clasificación **B** según el índice C_p y la figura 2.2.

2.5.1 Índice C_{pk}

Haciendo en este caso $c = T/\sigma$ y $k = \frac{|\bar{x} - M|}{T}$, se obtiene C_{pk} como una función general que depende de estos dos parámetros. (Demostraciones, Sección G1, Prueba1)

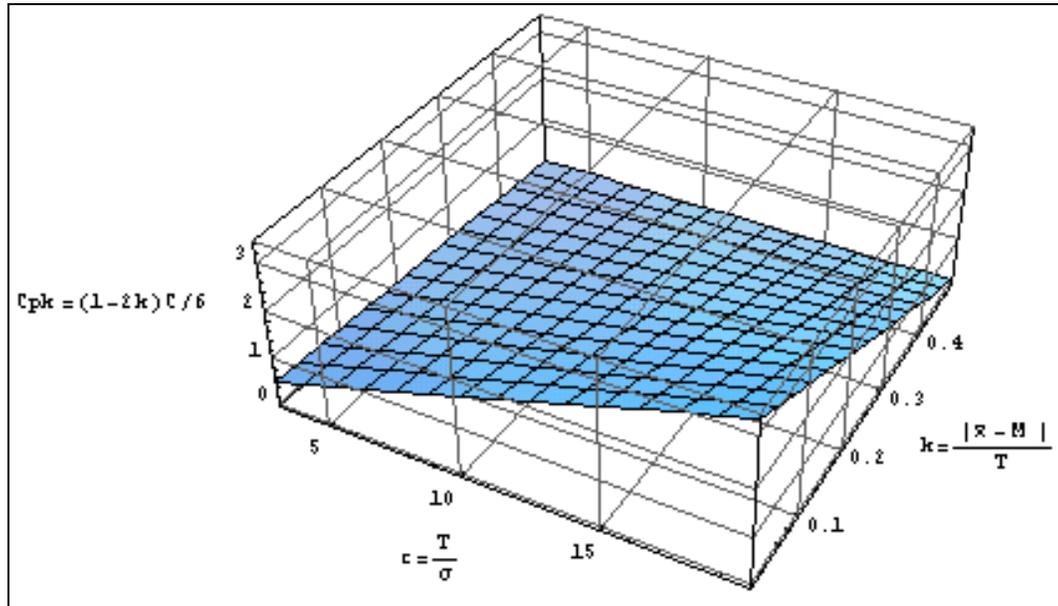
$$C_{pk}(c, k) = \frac{(1 - 2k)}{6} c \quad \text{.....12}$$

El gráfico de esta función para variaciones de **c** desde 3 hasta 20, es decir, desde el caso extremo $C_p = 1$ y para desviaciones extremas donde \bar{x} coincide con unos de los límites de especificación.

Nótese la forma de este plano con el perfil en dos dimensiones de la figura 2.4, donde C_{pk} tiene un comportamiento prácticamente lineal. Una tabla de estos valores estandarizados se presenta en los anexos para valores significativos. Esta estandarización permite analizar la probabilidad asociada a cada condición para un índice de capacidad determinado y analizar la influencia de la Incertidumbre en las

Capítulo 2

mediciones no solo en los extremos o límites especificados sino también en puntos importantes como M y S .



Fuente: Elaboración propia del autor
 Figura 2.5: Imagen tridimensional de $Cpk(c, k)$.

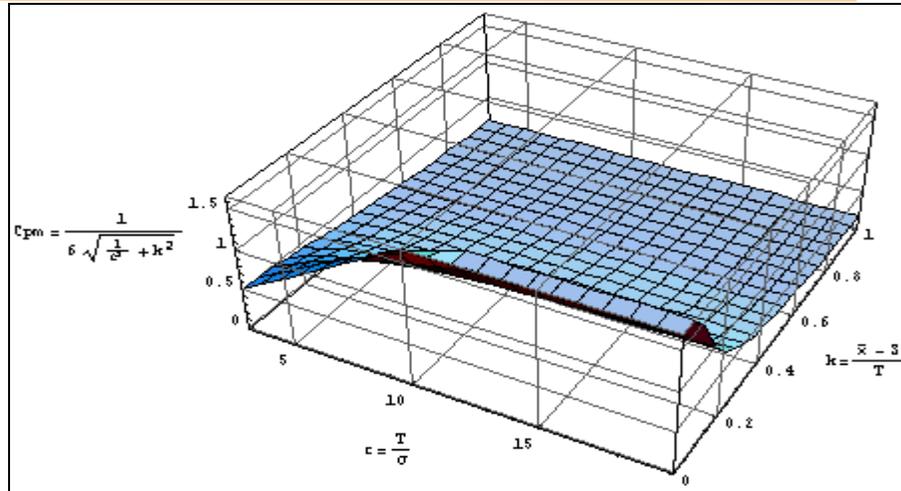
2.5.2 Índice Cpm

En este caso se utilizan $c = T/\sigma$ y $k = \frac{\bar{x} - S}{T}$, obteniéndose para los parámetros la siguiente función de Cpm en función de c y k .

$$Cpm(c, k) = \frac{1}{6\sqrt{\frac{1}{c^2} + k^2}} \quad \text{.....13}$$

La forma tridimensional para esta función se representa en la siguiente figura, y en los anexos se presenta una Tabla con valores significativos de las relaciones c y k .

Capítulo 2



Fuente: Elaboración propia del autor
 Figura 2.6: Imagen tridimensional de $C_{pm}(c, k)$.

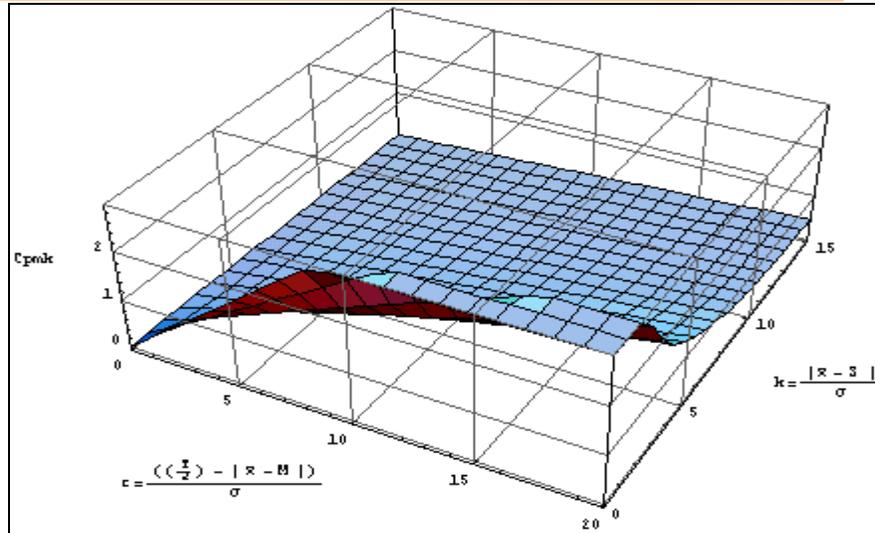
Es aquí importante señalar que fueron tomados valores absolutos de k , ya que sería una repetición simétrica en el gráfico presentado. Nótese la similitud que se presenta entre el perfil de variaciones de la figura 2.6 para valores de K con la forma del índice C_{pm} en la figura 2.4. También en los anexos se presenta la tabla de valores estandarizados para las relaciones significativas de c y k .

2.5.3 Índice C_{pmk}

En este caso haciendo $c = \frac{T/2 - |\bar{x} - M|}{\sigma}$ y $k = \frac{\bar{x} - S}{\sigma}$ se obtiene la función general de C_{pmk} en dependencia de las relaciones c y k .

$$C_{pmk}(c, k) = \frac{c}{3\sqrt{1+k^2}} \quad \text{.....14}$$

El gráfico correspondiente se presenta en la figura 2.7 y la correspondiente tabla de C_{pmk} para los valores significativos de las relaciones c y k .



Fuente: Elaboración propia del autor
 Figura 2.7: Imagen tridimensional de $Cpmk(c, k)$.

El comportamiento del índice $Cpmk$ denota una alta valoración para los cambios positivos en los parámetros del proceso, es decir, para $c \geq 3$ y $k \leq 5$, sin embargo la evaluación para otras condiciones es mucho más rigurosa que la presentada por los demás índices. Es fácil detectar esta severidad en la evaluación de los procesos en la figura 6 para el caso práctico presentado, pero esa misma severidad por supuesto se mantiene en el caso genérico de $Cpmk(c, k)$ representado en tres coordenadas.

Es por esta razón que se seleccionará este índice como el más adecuado para evaluar los procesos bajo las condiciones de fabricación modernas, y a través de él se analizarán y se identificarán variantes para procesos gobernados no solo por la ley Normal sino también por otras distribuciones de la familia de Pearson.

2.5.4 Otros índices de Capacidad.

Quedo recomendado por Boyles (1994) el siguiente índice con basamentos probabilísticos:

$$S_{pn} = \frac{1}{3} CDF^{-1} \left(\frac{1}{2} CDF \left(\frac{\bar{x} - LSL}{\tau} \right) + CDF \left(\frac{USL - \bar{x}}{\tau} \right) \right) \quad \dots\dots 15$$

Donde:

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}$$

Capítulo 2

En este caso la CDF se refiere a la función de distribución acumulada de la distribución Normal de probabilidad. Se puede plantear que el índice C_{pmk} es una aproximación al S_{pn} y es más fácil de calcular manualmente y de interpretar analíticamente. [8].

Vännman en 1995 emplea una nueva familia de índices de Capacidad que dependen de dos parámetros, $(u; v)$ y se define como:

$$C_p(u, v) = \frac{d - u |\bar{x} - M|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\bar{x} - S)^2}} \quad \dots\dots 16$$

Donde:

$$d = (USL - LSL) / 2$$

$$M = (USL + LSL) / 2$$

Con el índice anterior para valores de u y v entre 0 y 1 se obtienen:

$$C_p(0,0) = C_p$$

$$C_p(1,0) = C_{pk}$$

$$C_p(0,1) = C_{pm}$$

$$C_p(1,1) = C_{pmk}$$

.....17

En los trabajos de Vännman se presentan varios estudios sobre la distribución teórica de este índice de Capacidad general, sin embargo no existen elementos prácticos de empleo para las diferentes condiciones reales de los datos provenientes de los procesos bajo estudio.

Capítulo 2

2.6 Conclusiones parciales del capítulo II

1. El análisis del comportamiento de los índices denota que en su desarrollo se han intensificado el rigor y la severidad con la que evalúan a los procesos
2. Las curvas en dos dimensiones y los planos en tres dimensiones denotan que la sensibilidad de los índices de capacidad aumenta desde **C_p** hasta **C_{pmk}** como máximo exponente de rigor.
3. Los índices de capacidad tienen aplicaciones específicas según el tipo de tolerancias tecnológica de los procesos. Es necesario realizar un diagnóstico por observación directa utilizando la lista de chequeo de la NC 126:2001 para contraponer el diagnóstico actual realizado.
4. Es necesario realizar un análisis de riesgos en el proceso de preparación, mantenimiento y elaboración de los alimentos para evitar consecuencias fatales que de una forma u otra puedan influir en el nivel de satisfacción alcanzado en el restaurante.

Capítulo 3

3 Desarrollo de un nuevo índice de capacidad de los procesos.

3.1 Introducción

En este tercer capítulo se desarrolla matemáticamente el nuevo índice de capacidad de los procesos, como se vio en el capítulo anterior, cada índice que se desarrolla trata de evaluar cada vez más rigurosamente a los procesos. Se centra la atención aquí en los procesos con distribuciones de cualquier tipo y sobre todo se trabaja con la distribución muestral, evaluando su asimetría e incorporándola al proceso de evaluación de la capacidad de los procesos.

En la figura 3.1 se muestra el Hilo conductor que se sigue en este capítulo.

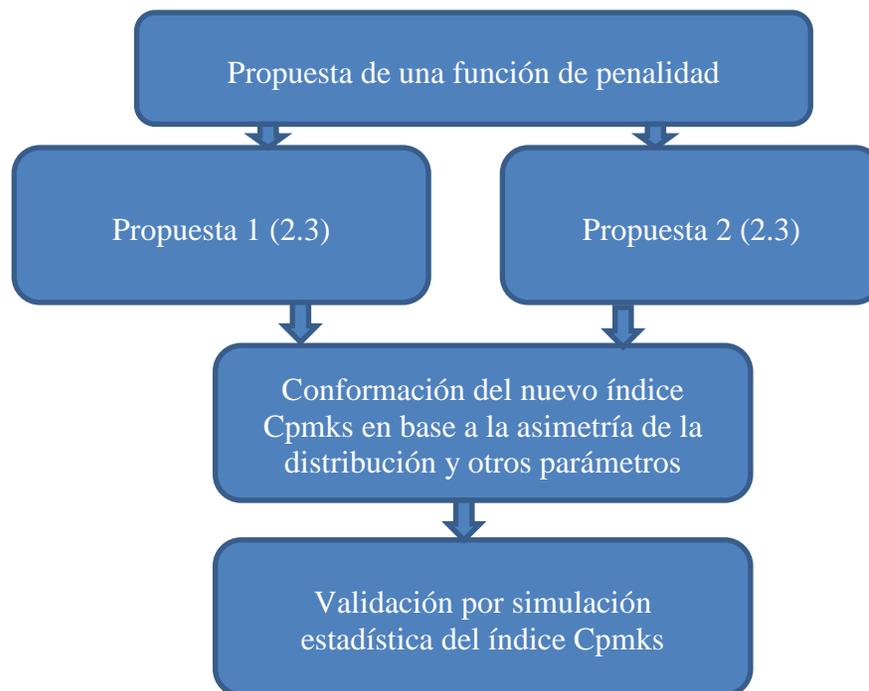


Figura 3.1: Hilo conductor del capítulo III.

Fuente: Elaboración propia del autor

3.2 Un nuevo índice de capacidad de los procesos (Cpmks)

En este punto se propone un primer procedimiento para el desarrollo del nuevo índice, así como sus ventajas y desventajas. La propuesta fue en el orden de los desafíos que implicó este desarrollo y sus problemas prácticos.

Aquí la propuesta es una nueva forma del índice de capacidad Cpmk o $Cp(1,1)$, que es funcional para cualquier tipo de distribución estadística.

Capítulo 3

Este nuevo índice de capacidad depende de la desviación típica muestral del proceso evaluado (σ), de las especificaciones de tolerancias, de la desviación del procesos respecto al valor medio del proceso y del valor medio de tolerancia. Además de ello depende de la asimetría de la distribución (Skewness or third moment).

3.2.1 Primera propuesta para el índice Cpmks.

Se propone aquí como primera variante para el desarrollo de este índice la mostrada en la ecuación 18.

$$Cpmks = \frac{\frac{T}{2} - |(\bar{x} - M)\partial|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} \quad \dots\dots 18$$

Donde la cantidad ∂ será estimada sobre las bases del sistema de ecuaciones siguiente según se muestra en 19:

$$\partial = \begin{cases} \frac{\frac{|\bar{x} - M|}{(\bar{x} - M)} + Kws}{|Kws| + 1} & \text{sí } (\bar{x} - M) \neq 0 \\ 1 & \text{sí } (\bar{x} - M) = 0 \end{cases} \quad \dots\dots 19$$

Aquí el valor de **Kws** es la asimetría de la distribución muestral (Skewness).

Es de notar que en esta ecuación 19, la cantidad $\frac{|\bar{x} - M|}{(\bar{x} - M)}$ es igual a la unidad (1) o su valor negativo (-1) según la posición del valor de \bar{x} .

La asimetría de la distribución (Skewness) será calculada como el tercer momento muestral según la ecuación 20.

$$Ksw = \frac{1}{S^3} \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} - 3\bar{x} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} + 2\bar{x}^3 \right] \quad \dots\dots 20$$

3.2.2 Segunda propuesta para el índice Cpmks.

Las ecuaciones 18 y 19 tienen una gran inexactitud, esto es, la no estimación de la ponderación del grado de importancia de los casos en que la distribución base de la muestra, posea un mismo valor del signo de su asimetría y de la diferencia $(\bar{x} - M)$.

En los casos, en los cuales la distribución muestral de base de análisis posea una asimetría (Skewness) con signo diferente a la desviación o diferencia $(\bar{x} - M)$, entonces la situación es mucho más seria, porque la probabilidad o chance de valores fuera de los

Capítulo 3

límites de especificación será bien alta. De esta forma se está tratando de proponer un valor que penalice esta diferencia en signo, es decir, que muestre señales y evalúe entonces de forma más rigurosa a la capacidad del proceso.

Una forma más exacta para **Cpmks** sería la mostrada en la ecuación 21 según:

$$Cpmks = \frac{\left(\frac{T}{2} - |(\bar{x} - M)\theta|\right)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - S)^2}} \quad \text{.....21}$$

Aquí θ es un coeficiente que determina el nivel de importancia o penalidad para la diferencia $(\bar{x} - M)$ respecto a la asimetría de la distribución base muestral de análisis. Es por ello que el nuevo índice propuesto **Cpmks** implica una mayor severidad en la calificación de cualquier proceso según su capacidad. La siguiente ecuación (22) es la empleada para la estimación del valor de θ .

$$\theta = 1 - \frac{\left|\frac{\bar{x} - M}{T/2} K_{sw}\right|}{12} \text{Exp} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{\bar{x} - M}{T/2} K_{sw} \right) \left(1 + \text{Sign} \left[\frac{\bar{x} - M}{T/2} K_{sw} \right] \right) \right] \quad \text{.....22}$$

Para lograr la simplificación de la ecuación anterior, serán empleados los siguientes parámetros:

$\xi = \frac{\bar{x} - M}{T/2} K_{sw}$, cuya sustitución en la ecuación 22 resulta en:

$$\theta = 1 - \frac{|\xi|}{12} \text{Exp} \left[\frac{1}{4} \xi (1 + \text{Sign}[\xi]) \right] \quad \text{.....23}$$

En la ecuación 23 la cantidad $\text{Sign}[\xi]$ será igual a -1 cuando $(\bar{x} - M)$ y K_{ws} posean signos diferentes. En otros casos entonces ese valor será igual a . es de notar que $\text{Sign}[\xi]$ es equivalente a la razón $\frac{\xi}{|\xi|}$.

Una superficie tipo respuesta de sensibilidad, elaborada en tres dimensiones, es representada para la ecuación 23 en la figura 3.2, la misma depende obligatoriamente de la relación $\frac{(\bar{x} - M)}{T/2}$ y K_{sw} .

Capítulo 3

Es de suma importancia en la ecuación 21 para **Cpmks**, que en un proceso centrado, es decir, donde ocurre que $\bar{x} \approx M$, o para un proceso simétrico en su distribución muestral ($K_{sw} \approx 0$), que el valor de θ se igualaría prácticamente a la unidad, en esos casos sería el nuevo índice desarrollado equivalente a **Cpmk**, **Cpm**, **Cpk** y **Cp(1,1)**. Lo anterior denota la robustez y compatibilidad del índice **Cpmks**.

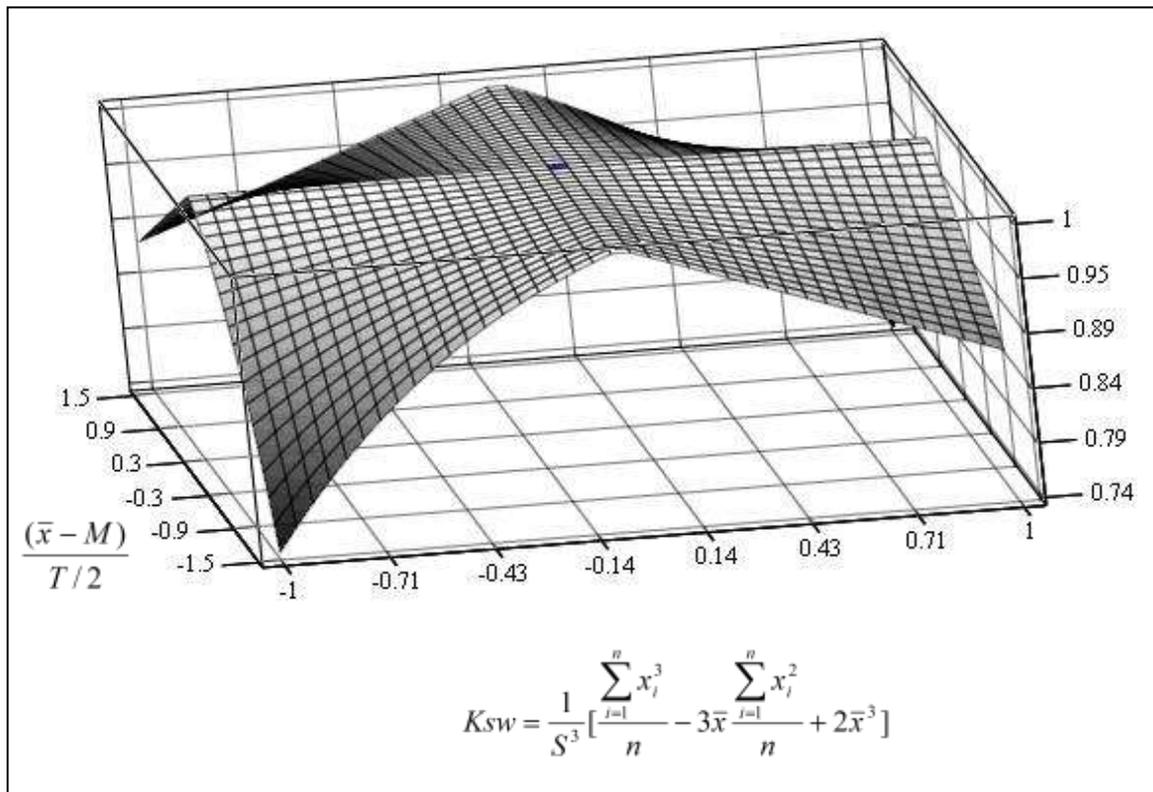


Figura 3.2: Superficie de sensibilidad y penalización para Cpmks.
Fuente: Trabajos de C. Machado & Lutz Wisweh. Alemania 2008

Hasta aquí solo fueron considerados los valores de la distribución muestral respecto a su desviación estándar, a su asimetría, así como otros valores de especificaciones y demás, sin embargo existen otros parámetros que son críticos para la valoración de la verdadera capacidad de los procesos y no se tienen en cuenta, como es el caso de la incertidumbre de las mediciones.

3.3 Valoración por simulación de la sensibilidad del índice Cpmks.

Cuatro escenarios serán tratados a continuación, y para ellos fue el empleado el Software de desarrollo matemático y cálculo simbólico e ingenieril Mathcad 14.0. Estos

Capítulo 3

Tabla 3.1: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Primer escenario.

Valor muestral	Resultado	Valor tecnológico	Resultado	Índice	Resultado
$\max(x)$	64.945	LSE (OSG)	65	Cp	1,105
$\min(x)$	46.694	LIE (USG)	45	Cpk	0,584
$\text{skew}(x)$	-0,95	$TM = \frac{LSE + LIE}{2}$	55	Cpm	0,596
\bar{x}	59,711	Nominal = TM	55	Cpmk	0,315
$\sigma(x)$	3,018			Cpmks	0,303

Como es de notar en la figura 3.3, en el círculo en rojo entre los valores de 40 y 50 unidades (de la medida seleccionada – sin especificar), la probabilidad en este caso de salida por el límite inferior es mínima o casi nula, por lo que la valoración se acerca al índice **Cpmk** pero siempre con más rigor (nótese última columna de la tabla 3.1).

3.3.2 El segundo escenario. Asimetría negativa con grandes riesgos para la Calidad

En este escenario se presentan las siguientes condiciones:

1. El valor actual de la media del proceso (\bar{x}) está entre el valor medio de tolerancia **Tm** y el límite inferior de especificación (LIE o USG).
2. La asimetría de la distribución muestral está hacia la izquierda.

Se muestra a continuación en la figura 3.4 para valores simulados, un proceso con esas características.

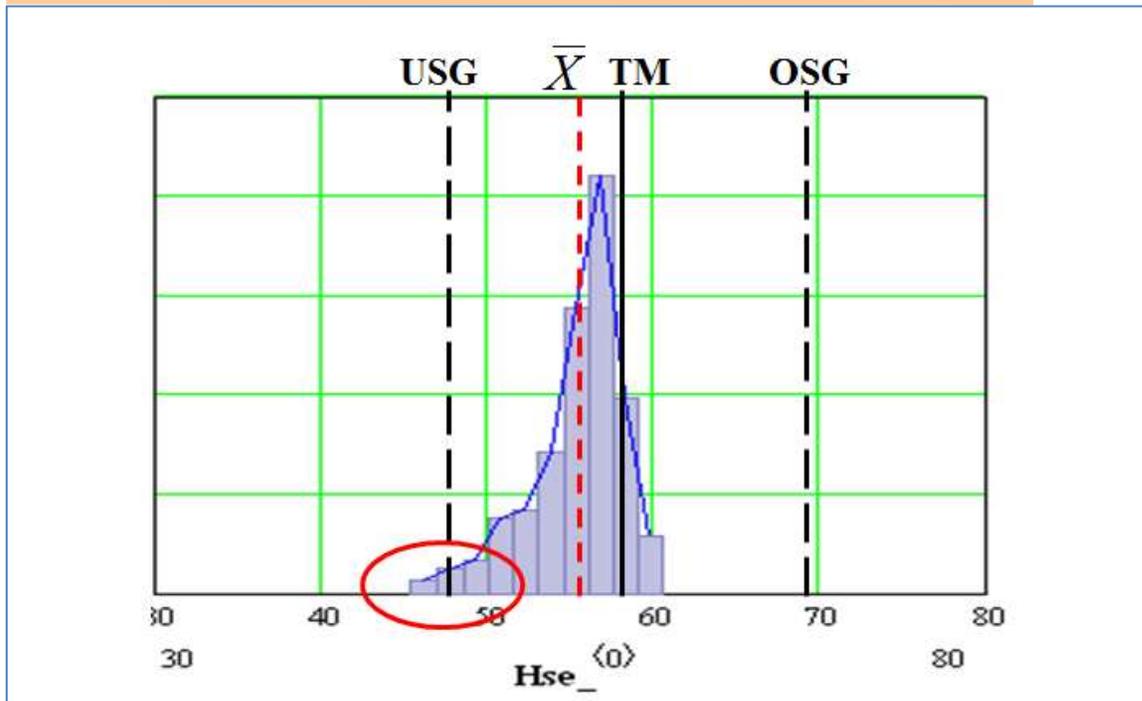


Figura 3.4: Histograma para datos simulados. Segundo escenario.

Fuente: C. Machado & Lutz Wisweh. Alemania 2008 y recreados por el autor en Mathcad

Los valores de los datos que se trabajan en la simulación con Mathcad son los siguientes mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Segundo escenario.

Valor muestral	Resultado	Valor tecnológico	Resultado	Índice	Resultado
$\max(x)$	54,88	LSE (OSG)	65	Cp	1,114
$\min(x)$	34,807	LIE (USG)	45	Cpk	0,376
$\text{skew}(x)$	-1,086	$TM = \frac{LSE + LIE}{2}$	55	Cpm	0,459
\bar{x}	48,377	Nominal = TM	55	Cpmk	0,155
$\sigma(x)$	2,992			Cpmks	0,142

Como es de notar en la figura 3.4, en el círculo en rojo entre los valores de 40 y 50 unidades (de la medida seleccionada – sin especificar), la probabilidad en este caso de salida por el límite inferior es grande o casi la sexta parte o más de la base del histograma, por lo que la valoración ya se aleja del índice **Cpmk** y con más rigor (nótese última columna de la tabla 3.2).

Capítulo 3

Tabla 3.3: Valores simulados para muestra y de las especificaciones. Tercer escenario.

Valor muestral	Resultado	Valor tecnológico	Resultado	Índice	Resultado
$\max(x)$	62,733	LSE (OSG)	65	Cp	1,27
$\min(x)$	45,457	LIE (USG)	45	Cpk	0,85
$\text{skew}(x)$	1,005	$TM = \frac{LSE + LIE}{2}$	55	Cpm	0,79
\bar{x}	51,697	Nominal = TM	55	Cpmk	0,529
$\sigma(x)$	2,625			Cpmks	0,514

Como es de notar en la figura 3.5, en el círculo en rojo entre los valores de 65 y 70 unidades (de la medida seleccionada – sin especificar), la probabilidad en este caso de salida por el límite superior es ínfima o casi nula, por lo que la valoración ya se acerca al índice **Cpmk** y como siempre con más rigor (nótese última columna de la tabla 3.3).

3.3.4 El cuarto escenario. Asimetría positiva con grandes riesgos para la Calidad

En este escenario se presentan las siguientes condiciones:

3. El valor actual de la media del proceso (\bar{x}) está entre el valor medio de tolerancia **Tm** y el límite superior de especificación (LSE o OSG).
4. La asimetría de la distribución muestral está hacia la derecha.

Se muestra a continuación en la figura 3.6 para valores simulados, un proceso con esas características.

Conclusiones Generales

Conclusiones generales

1. En la literatura consultada; principalmente en las normas que se orientan a los estudios especiales de los procesos, así como en otras fuentes especializadas, se definen procedimientos clásicos para los análisis de capacidad, y procedimientos particulares sobre todo en los análisis multivariados de capacidad pero se toma aquí el casi univariado para reforzar en su rigor de evaluación.
2. Los análisis de capacidad estudiados tienen en cuenta muchos parámetros, sin embargo no se ha encontrado en la literatura, aquellos que trabajen directamente sobre la distribución muestral y sus características, lo cual es una ventaja del índice C_{pmks} .
3. La función de penalidad desarrollada, ofrece con un rigor estadístico una función acotada entre 0 y 1, que hace coincidir al índice C_{pmks} con el resto de los índices de capacidad univariados cuando las condiciones coinciden exactamente para ello.
4. La validación por simulación, mediante programación M en el software Mathcad, resultó en un índice C_{pks} que siempre logra un mayor rigor que el resto y hace mucho más evidente la falta de capacidad para movimientos de la asimetría que atenten con el cumplimiento de las especificaciones.

Recomendaciones

1. Seguir desarrollando este índice de capacidad y aplicar su función de penalización en otros índices de capacidad, sobre todo los casos multivariados.
2. Valorar el empleo de este tipo de índice en la evaluación in-situ de procesos de diferente índole, para tener una mayor sensibilidad en las correcciones estadísticas y/o la optimización de los procesos.
3. Desarrollar una aplicación Standalone (portable) que contenga a los estudios especiales de los procesos, en específico los análisis de capacidad, y que se base en Software de propósitos generales y en los repositorios del lenguaje de programación R.

Bibliografía

Bibliografía

Libros y Monografías

1. Adams.1972.Diseño experimental no paramétrico. Verlag in Qualität und Zuverlässigkeit. Bonn. BDR
2. Box & Luceño (1997). Box, G. Luceño, A. Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment. 1997. p 313.
3. Conway, W. F [1988]. The correct way of managing. Conway Quality. Inc.
4. Feigenbaum, A. V. [1971]. Control total de la calidad. Edición Revolucionaria, Habana.
5. Feigenbaum, A. V. [1997]. Changing concepts and management of quality worldwide. *Quality progress*. December: pp 45-48.
6. Ishikawa, K. [1988]. ¿Qué es el control total de la calidad? La modalidad japonesa. Edición Revolucionaria. La Habana: p 209.
7. Juran, J.M (1993). Manual de Control de la Calidad. Cuarta edición. McGraw Hill Book Company. Madrid.
8. López Figueredo (2005). López E. Directivas para la producción de azúcares, plantas de derivados y otras producciones industriales en el MINAZ. Seminario Nacional Directores. Enero 2005.
9. Machado, C.; Coello, N. y Glistau, Elke “Qualität und Zuverlässigkeit in Logistikdienst“ Preprint Otto-von-Guericke Universität, ILM Institut, 2008
10. Nembhand & Valverde-Ventura (2003). Nembhand, H. B., & Valverde-Ventura R. “Integrating experimental design and statistical control for quality improvement”. *Journal of quality technology*. Vol. 35, No. 4, October 2003, p 406-423.
11. Norma ISO 9004: 2009 “Sistemas de Gestión de la Calidad. Directrices para la mejora del desempeño”.
12. Norma Cubana ISO 22000: 2005 Sistema de Gestión de la Inocuidad de los alimentos- Requisitos para cualquier organización de la cadena alimentaria.
13. Norma NC ISO 9000: 2005 Vocabulario de Calidad, términos y definiciones
14. Norma NC ISO 9001:2008. Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos. Secretaria Central ISO en Ginebra, Suiza.
15. Siegel.1972. Diseño experimental no paramétrico. Mc Graw Hill. 4. Edition

Bibliografía

16. Walton, Mary. [1986]. The Deming management method. Doodd, Mead & Company (Eds.) New York.
17. West & Dellana (2002). West D. & Dellana S. "Transfer Function Modeling of Processes with Dinamic Inputs" Journal of Quality Technology. Vol. 34. No. 3 July 2002.
18. www.evama.net consultado el 26-02-2009
19. Yamaguchi, K. [1989]. El aseguramiento de la calidad en el Japón. Conferencia brindada en el CEN. La Habana, febrero: p 107
20. Park, H.S. "Robust Design and Analysis for Quality Engineering". Chapman & Hall. First Ed. 1996.
21. Abraham, B. & N. Unnikrishnan. "Quality Improvement through Statistical Methods". Birkhäuser, Boston. 1998.
22. Pearn, W.L., S. Kotz, & N.L. Johnson. "Distributional and Inferential properties of process capabilities indices" . Quality Tech. London. 1992.
23. Kotz, S., N.L. Johnson. "Process capabilities indices". Chapman & Hall. London. 1993.
24. Vännman, K. "Distribution and moments in simplified form for a general class of capability indices". Communications in Statistics theory and methods. Lulee University. 1997.
25. Vännman, K. "A general class of capability indices in the case of asymmetric tolerances". Communications in Statistics theory and methods. Lulee University. 1998.
26. Vännman, K. & S. Kotz. "A superstructure of capability indices-asymptotic and its implications". Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 2. 1995.
27. Boyles, R.A. "The Taguchi capability Index". Journal of Quality Control Technology, 23, 17-20. 1991.
28. Boyles, R.A. "Process capability with asymmetric tolerances". Communications in Statistics theory and methods. Lulee University. 1994.
29. Kane, V.E. "Process capability indices". Journal of Quality Control Technology, 18. 1986.

Bibliografía

30. Chan, L.K., S.W. Cheng & F.A. Spiring. "A new measure of process capability: *C_{pm}*" *Journal of Quality Control Technology*, 20. 1988.
31. Becker, T. "Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren". Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
32. Allen, T.T. "Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma". Springer-Verlag London, 2006.
33. Mittag, H.-J. „Qualitätsregelkarten“. Carl Hanser Verlag München Wien, 1993.

Anexos

Lista de Anexos

Anexo 1: Ejemplo de código en lenguaje M (Mathcad) para simulación de un proceso y cálculo del tercer momento muestral.

```
c_schieffe(sg, m, Xm, S) :=  
a ← rnorm(m, Xm, S)  
a_m ← mittelwert(a)  
a_s ← stdev(a)  
b ← rnorm(300, Xm, S·3)  
c ← 0  
if sg = 1  
  for i ∈ 0..zeilen(b) - 1  
    if b_i ≥ a_m + 0.6·a_s  
      tmp ← b_i  
      R_c ← tmp  
      c ← c + 1  
  c ← 0  
if sg = -1  
  for i ∈ 0..zeilen(b) - 1  
    if b_i ≤ a_m - 0.6·a_s  
      tmp ← b_i  
      R_c ← tmp  
      c ← c + 1  
  c ← 0  
for i ∈ 0..(m - 1)  
  Res_i ← a_i  
for i ∈ m..(m + zeilen(R)) - 1  
  Res_i ← R_{i-m}  
Res
```

Anexos

Anexos 2: Ejemplo de código en lenguaje M (Mathcad) para simulación de un proceso y cálculo del valor Cpmks.

```

FähigkeitCp_(var, USG, OSG, Sollwert) :=
Xm ← mittelwert(var)
σ ← stdev(var)
Tm ←  $\frac{OSG + USG}{2}$ 
T ← OSG - USG
Ksw ← skew(var)
ξ ←  $\frac{Xm - Tm}{\frac{T}{2}} \cdot Ksw$ 
θ ←  $1 - \frac{|\xi|}{12} \cdot \exp\left[\frac{1}{4} \cdot \xi \cdot (1 + \text{sign}(\xi))\right]$ 
FI0 ←  $\frac{T}{6 \cdot \sigma}$ 
FI1 ←  $\frac{\left(\frac{T}{2}\right) - |Xm - Tm|}{3 \cdot \sigma}$ 
FI2 ←  $\frac{T}{6 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (Xm - Sollwert)^2}}$ 
FI3 ←  $\frac{\left(\frac{T}{2}\right) - |Xm - Tm|}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (Xm - Sollwert)^2}}$ 
FI4 ←  $\frac{\left[\left(\frac{T}{2}\right) - |Xm - Tm|\right] \cdot \theta}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (Xm - Sollwert)^2}}$ 
FI

```