



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
CURSOS ESPECIALES DE GRADO
ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD**

GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Trabajo de Grado modalidad Cursos Especiales de Grado

Presentado por:

**HERNÁNDEZ AZOCAR, VÍCTOR JAVIER
JARAMILLO MARCANO, KARELIS DEL CARMEN**

**Como requisito parcial para optar al título de:
LICENCIADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Noviembre, 2020

**GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA
ALIMENTARIA**

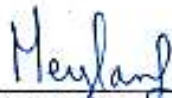
Trabajo de Grado modalidad Cursos Especiales de Grado
Presentado por:

**HERNÁNDEZ AZOCAR, VÍCTOR JAVIER
JARAMILLO MARCANO, KARELIS DEL CARMEN**

Como requisito parcial para optar al título de:

LICENCIADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADO POR:



**Prof. (a): Meylan Liendo
Asesor académico**



**Prof. (a): Mary Longart
Jurado Principal**



**Prof. (a): Ana Yndira Ramos
Jurado Principal**

Noviembre, 2020



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 NÚCLEO DE MONAGAS
 ESCUELA DE ZOOTECNIA
 DEPARTAMENTO TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
 SUB-COMISION TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACION DEL TRABAJO DE GRADO
 CTG-EZ-LTA-2020
 MODALIDAD: CURSOS ESPECIALES DE GRADO
 AREA: CONTROL DE CALIDAD

ACTA N° 23


PERIODO ACADEMICO: I- 2019		COHORTE:	
CODIGO	SEMINARIOS	CLASIFICACION	PROFESOR
209-5423	Gestión de la Calidad	Ocho (8)	MSc. Norinda Gil MSc. Janny Reyes
209-5523	HACCP. Análisis de Riesgos y Puntos de Control Críticos	Siete (7)	MSc. Roxana Hernández Dra. Meylan Liendo
209-5623	Normalización y Certificación de la Calidad	Ocho (8)	MSc. Nereyasmí Sifuentes

En Maturín, siendo las 9:30 am, del día 05 de noviembre del 2020, reunidos en el aula B-2 de Postgrado, Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: Meylan Liendo (Asesor Académico), Ana Ramos (Jurado), Mary Longart (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Licenciado en Tecnología de Alimentos, visto el rendimiento obtenido en los seminarios y aceptada la Monografía de Investigación titulada: "GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA". Por el bachiller VÍCTOR JAVIER HERNÁNDEZ AZOCAR C.I. N° 25.265.594. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: **APROBADO**.



 Dra. Ana Ramos
 C.I. 10.308.657
 Jurado


 M.Sc. Mary Longart
 C.I. 4.502.463
 Jurado


 Dra. Meylan Liendo
 C.I. 12.152.196
 Asesor


 Br. Víctor Javier Hernández Azocar
 C.I.: 25.265.594
 Estudiante


 Dra. Ana Ramos
 C.I. 10.308.657
 Sub-Comisión Trabajo de Grado


 M.Sc. Carmelina
 C.I.: 8.536.101
 Jefe Departamento



Según establecido en resolución del Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente




UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 NÚCLEO DE MONAGAS
 ESCUELA DE ZOOTECNIA
 DEPARTAMENTO TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
 SUB-COMISION TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACION DEL TRABAJO DE GRADO
 CTG-EZ-LTA-2020
 MODALIDAD: CURSOS ESPECIALES DE GRADO
 AREA: CONTROL DE CALIDAD

ACTA N° 24

PERIODO ACADEMICO: I- 2019		COHORTE:	
CODIGO	SEMINARIOS	CLASIFICACION	PROFESOR
209-5423	Gestión de la Calidad	Ocho (8)	MSc. Norinda Gil MSc. Janny Reyes
209-5523	HACCP, Analisis de Riesgos y Puntos de Control Críticos	Ocho (8)	MSc. Roxana Hernández
209-5623	Normalización y Certificación de la Calidad	Ocho (8)	Dra. Meylan Liendo MSc. Nereyasmí Sifuentes

En Maturín, siendo las 9:30 am, del día 05 de noviembre del 2020, reunidos en el aula B-2 de Postgrado, Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: Meylan Liendo (Asesor Académico), Ana Ramos (Jurado), Mary Longart (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Licenciado en Tecnología de Alimentos, visto el rendimiento obtenido en los seminarios y aceptada la Monografía de Investigación titulada: "GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA". Por la bachiller **KARELIS DEL CARMEN JARAMILLO MARCANO C.I. N° 20.140.008**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: **APROBADO**.


 Dra. Ana Ramos
 C.I. 10.308.657
 Jurado


 M.Sc. Mary Longart
 C.I. 4.502.463
 Jurado


 Dra. Meylan Liendo
 C.I. 12.152.196
 Asesor


 Br. Karelis del Carmen Jaramillo Marcano
 C.I.: 20.140.008
 Estudiante


 Dra. Ana Ramos
 C.I. 10.308.657
 Sub-Comisión Trabajo de Grado

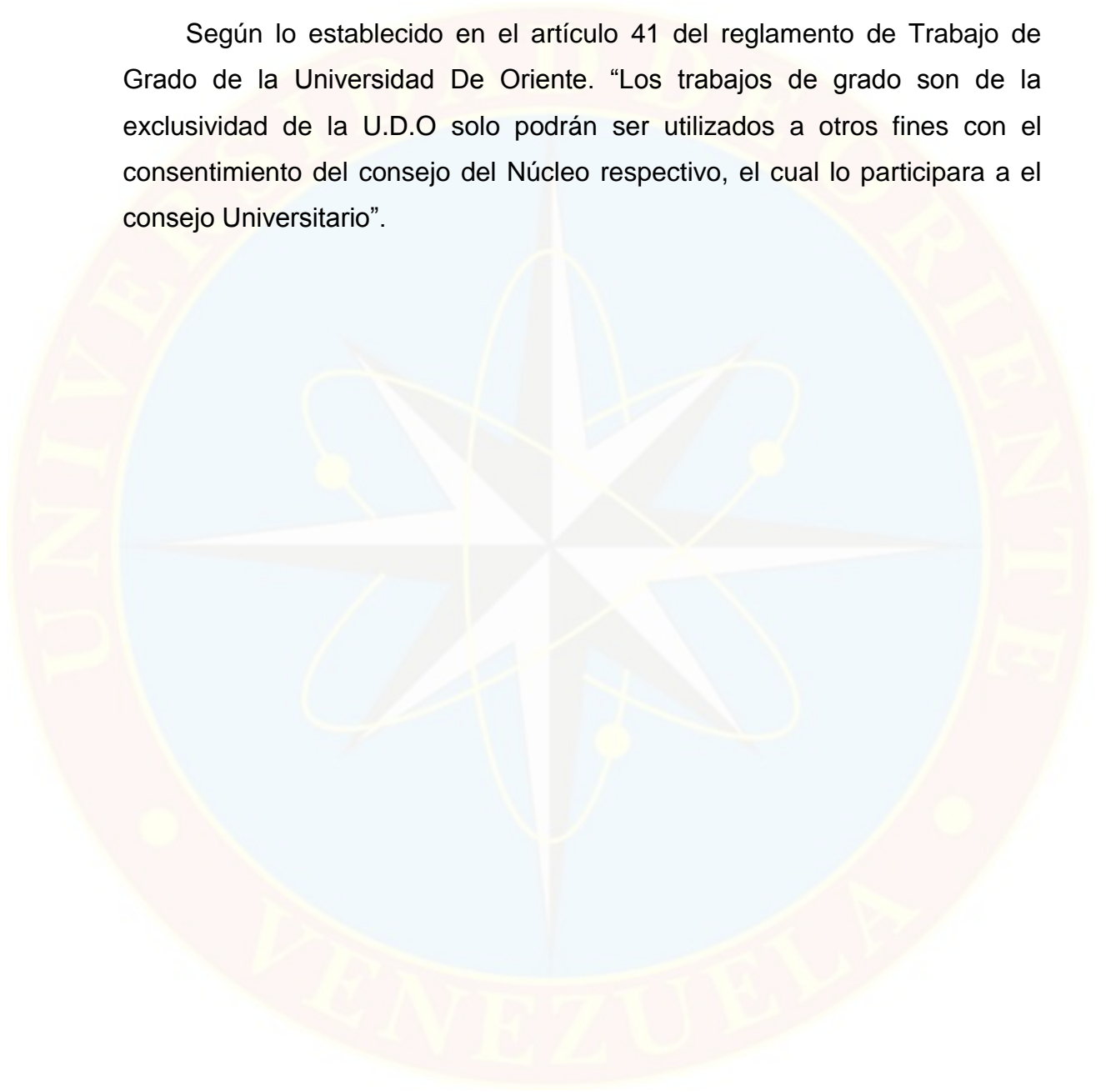

 M.Sc. Carmen Parra
 C.I.: 8.536.104
 Jefe Departamento



Según establecido en resolución del Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Lateral J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente

RESOLUCIÓN

Según lo establecido en el artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad De Oriente. “Los trabajos de grado son de la exclusividad de la U.D.O solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo del Núcleo respectivo, el cual lo participara a el consejo Universitario”.



DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada primeramente a Dios, por ser quien plantó en mis los sueños que a lo largo de mi vida he tenido y me ha brindado las herramientas necesarias para lograr cada uno de ellos, en especial este logro tan importante en mi vida, quien sin el nada de esto hubiese sido posible.

En segundo lugar, va dedicada a mi madre Keila Y. Marcano quien a pesar de todas las circunstancias y adversidades ha sido mi pilar y apoyo fundamental a lo largo de mi vida y mi carrera, la cual me ha tenido la paciencia necesaria para yo poder llegar hasta esta meta.

¡¡A ella... Gracias!!

Karelis Jaramillo

DEDICATORIA

A *Dios* por darme la voluntad, fuerza, constancia y salud para enfrentar todos los obstáculos y retos en mi vida y durante todo este tiempo en la casa más alta. Con Dios todo se puede, sin Él nada.

A *mis Padres*, por todo lo que soy y por darme cada oportunidad brindada.

A *mis hermanos*, por formar parte de mi vida.

A *mis abuelos*, porque sé que siempre me ha acompañado.

A *mi novia* por estar ahí en cada momento duro, durante este proyecto de vida.

Victor Javier Hernández Azócar

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por ser mi guía y mi fortaleza a lo largo de este camino.

Agradezco a mi papá putativo José Goite (Moncho) quien desde pequeño veló por mi bienestar y en conjunto con mi mamá nunca me faltara nada, por ser mi figura paterna desde mi infancia hasta la actualidad y por ser mi gran apoyo en mi trayecto de vida.

A mi hermano José Jesús, el travieso de mi vida, pero que siempre estuvo conmigo.

A mis primas-hermanas Lita y Mina, quienes lucharon conmigo siempre y nunca me dejaron sola en mis adversidades, por ser siempre constantes conmigo y enseñarme cada día más.

A mi tía Luz M. Marcano, persona que desde la distancia siempre ha estado pendiente de mí, de darme siempre los mejores consejos y guiarme por el buen camino, por consentirme y hacerme las cosas que me gustan.

A mamá Yaro y Gaby, amigas incondicionales desde la infancia, a ellas gracias por ser mis confidentes, mi apoyo en todo momento.

A la familia León Bello, mi mami Yulzha y mis churrys quienes han sido únicos y especiales conmigo en todo momento, tanto en las buenas como en las malas, mi otra familia.

A la Lcda. María Gabriela García, mami udista quien me abrió las puertas de su oficina (FAMES) y me brindó todo su apoyo incondicional, amiga y madre consejera, quien cuando lo ameritaba me regañaba y me ponía en los palitos, pero quien también me dio todo su amor y abrió las puertas de su hogar y me unió como un miembro más a su familia.

A mis amigas udistas Nohelys, que desde que nos conocimos compaginamos e hicimos una gran amistad, gracias amiga por no dejarme caer cuando lo necesite, por dedicar tu tiempo y paciencia a explicarme cuando no entendía algo, María R. (princesa), mi pareja y cómplice en mis travesuras, pero quien también estuvo siempre ahí ayudándome y apoyándome en todo momento y a mi amiga y hermana Rina Pérez, quien desde un principio no me cayó bien, pero las circunstancias de la vida hizo que nos uniéramos y enlazáramos como hermanas, la cual ha estado en mis momentos buenos y malos, alegres y tristes y siempre ha tenido un consejo para mí, gracias por tanto hermana.

A mis compañeros de Áreas de Grado, la cual siempre han estado desde que iniciamos esta travesía.

A mi compañero de tesis Víctor Hernández, más que un compañero ha sido mi amigo, hermano y confidente, el cual se unió conmigo para enfrentar juntos este reto de nuestras vidas que con risas y llantos hemos podido llegar hasta esta meta.

Por último, no menos importante, agradezco enormemente a mi asesora Meylan Liendo, persona que admiro muchísimo por ser tan constante con todo lo que quiere, más que una asesora académica ha sido madre y consejera, por dedicarme todo su tiempo, enseñanza y paciencia

para guiarme en este trayecto, que con su amor me ha permitido llegar hasta este paso tan importante para mí. A la Profa. Nereyasmi Sifuentes, más que una profesora ha sido amiga y confidente y a la Profa. Norinda Gil, quien ha tenido el amor y la dedicación para conmigo en todo este trabajo y a la casa más alta UDO Monagas por abrirme las puertas en todo este camino y que a pesar del tiempo me ha permitido llegar hasta esta meta. Mil gracias a todos (as).

Karelis Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que nadie a Dios, por darme la dicha de vivir esta experiencia y poder cumplir esta meta

A mis abuelas por ser mis pilares en este camino, a mis padres por su inmenso apoyo, a mis hermanos por su constante aliento a seguir adelante y a mi compañera de vida que siempre me animó a culminar esta meta María Rodríguez. ¡Son lo más importante que me ha pasado en la vida!

A mi profesora y asesora Meylan Liendo, por su tiempo, constancia, dedicación, paciencia, responsabilidad y enseñanzas, y a los profesores Alexander España, Janny Reyes y Norinda Gil por su excelente orientación y motivación para crecer como persona y profesional. A mi compañera de trabajo Karelys Jaramillo, por su esfuerzo, su apoyo y dedicación en alcanzar esta meta.

A la familia Reyes por siempre apoyarme, por ofrecerme su cariño y darme ánimos en los momentos más difíciles.

Victor Javier Hernández Azocar

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE GENERAL	xii
INDICE DE CUADROS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
GENERAL	3
ESPECÍFICOS.....	3
METODOLOGÍA	4
TIPO DE INVESTIGACIÓN	4
NIVEL DE INVESTIGACIÓN	4
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	5
MARCO TEÓRICO	7
GRÁFICOS DE CONTROL COMO HERRAMIENTA BÁSICA DE LA CALIDAD	7
GRÁFICOS DE CONTROL	8
CAUSAS NO ASIGNABLES.....	9
CAUSAS ASIGNABLES	10
OBJETIVOS DE LA APLICACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL	13
NORMATIVA RELACIONADA CON LOS GRÁFICOS DE CONTROL.....	14
CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES GRÁFICOS DE CONTROL	17
GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES.....	17
INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL.....	26
GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS	36
OTROS TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL	44
PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DIFERENTES GRÁFICOS DE CONTROL	47
PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLE	48
GRÁFICO DE CONTROL DE LECTURAS INDIVIDUALES Y RANGO MÓVIL (I-RM)	62
PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS	65

SOFTWARE ESTADÍSTICOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL	85
MINITAB	93
BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL	96
CASOS DE APLICACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	99
CONCLUSIONES	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
HOJA DE METADATOS	124



INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Constantes para gráficos de control.....	53
Cuadro 2. Datos para construcción de gráfica de control para promedios y rangos.....	55
Cuadro 3. Datos para construcción de gráfica de control para lecturas individuales y rango móvil.	64
Cuadro 4. Número de errores de impresión.....	67
Cuadro 5. Datos recopilados para las no conformidades por unidad.....	70
Cuadro 6. Datos recopilados para el proceso de empaclado de salchichas..	73
Cuadro 7. Datos recopilados para componentes defectuosos por muestra..	76
Cuadro 8. Datos recopilados para la construcción del gráfico EWMA	81
Cuadro 9. Datos y desarrollo del gráfico CUSUM.....	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura General de un Gráfico de Control.....	12
Figura 2. Clasificación de los Gráficos de Control	17
Figura 3. Formato General para un Gráfico de Control por Variables.....	19
Figura 4. Gráficos de Control de Medias (X) y Rangos (R) para el control de calidad de las legumbres secas.	23
Figura 5. Ejemplo de gráfico de medias (X) y desviación estándar (S).....	25
Figura 6. Gráfico de lecturas individuales y rango móvil para el porcentaje de proteína de un producto terminado en 28 muestras.....	26
Figura 7. Relación del Gráfico de Control con la Curva de Distribución Normal.....	27
Figura 8. Interpretación del índice de capacidad de procesos (Cp).	31
Figura 9. Reglas de Western Electric recomendadas para determinar las causas especiales de variación en un gráfico de control.	35
Figura 10. Formato General para un Gráfico de Control por Atributos	37
Figura 11. Gráfico de Control p para el proceso de empaquetado de salchichas.....	39
Figura 12. Gráfico de control p para la fracción no conforme de latas de concentrado de jugo de naranja.	39
Figura 13. Gráfico np para el número de galletas con chocolate defectuosas.	41
Figura 14. Gráfico C para el número de quejas recibidas en una empresa de alimentos durante veinte semanas.....	42
Figura 15. Gráfico U para los errores de envío en la red de la cadena de suministro.	43
Figura 16. Gráfico CUSUM con máscara para el peso de los paquetes de harina.	45
Figura 17: Gráfico EWMA para la viscosidad de un producto.....	46
Figura 18. Gráfico de promedios (X) y Gráfico de rangos (R) para el volumen neto (mL) en 25 muestras de leche completa esterilizada UHT, periodo junio – julio del 2010.	56
Figura 19. Representación de gráficos de control X y S.	61
Figura 20. Gráficas de lecturas individuales y rangos móviles para el proceso de producción de tequila.....	65
Figura 21. Gráfica del número de errores de impresión.....	68
Figura 22. Gráfica de no conformidades o defectos por unidad (U).....	71
Figura 23. Gráfica p para la proporción de paquetes defectuosos con puntos fuera de control.....	74

Figura 24. Gráfica p para los componentes defectuosos o disconformes por muestra.	77
Figura 25. Gráfico ejemplo EWMA.....	82
Figura 26. Ejemplo gráfico CUSUM	85
Figura 27. Gráficos de control X-R para el proceso de empaquetado de leche en polvo.	87
Figura 28. Carga de datos en el Statgraphics.....	88
Figura 29. Selección de Gráfico de datos en el Statgraphics	89
Figura 30. Configuración de Variable en Gráfico de datos en el Statgraphics	89
Figura 31. Selección Estudio Inicial en Gráfico de datos en el Statgraphics	90
Figura 32. Selección Resumen del Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics	90
Figura 33. Despliegue de Resultados del Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics.....	91
Figura 34. Ajuste de puntos fuera de control en Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics.	91
Figura 35. Despliegue de Gráfico de datos en el Statgraphics	92
Figura 36. Despliegue de Gráfico de datos en el Statgraphics	92
Figura 37. Despliegue de Gráfico de datos selección manual en el Statgraphics	93
Figura 38. Gráfica Xbarra de peso con el uso de Minitab	95
Figura 39. Proceso en línea de maíz.	100
Figura 40. Etapas críticas del proceso.....	102
Figura 41. Ejemplo de gráfico de control para estado controlado.....	103
Figura 42. Encabezado de la planilla de recolección de datos para gráficos de control X-R.....	104
Figura 43. Gráfica de control para promedios de temperatura en el mes de agosto en la línea de producción de maíz.	105
Figura 44. Gráfica de control para el rango de temperatura en el mes de agosto en la línea de producción de maíz.	105
Figura 45. Diagramas preliminares de X y de R para peso Neto.....	109
Figura 46. Gráfico C preliminar para Sangre.	110
Figura 47. Gráfica C de sangre bajo control estadístico.	111
Figura 48. (a) Gráfico de control X para la temperatura del café en polvo; (b) Gráfico de control para el rango de temperatura del proceso de obtención del café en polvo.	113
Figura 49. (a) Gráfico de control X para el porcentaje de sal en el líquido de cobertura de las latas de espárragos; (b) Gráfico de control para la estabilidad del proceso de preparación del líquido de cobertura de los espárragos enlatados.....	114

RESUMEN

Las Gráficas de Control (GC) se han convertido en una herramienta fundamental del control estadístico del proceso, ya que compara la información basada de muestras representativas del estado actual de las características de calidad frente a límites establecidos y especificaciones técnicas, evaluando si dicha característica de calidad del proceso productivo se encuentra o no “bajo control estadístico” y si el proceso es capaz de satisfacer las especificaciones técnicas de la compañía y del cliente. Es un diagrama que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para asegurar que se mantenga en esa condición, con éste se controla el desarrollo de los procesos de producción y características de calidad. El objetivo del presente trabajo de tipo documental consistió en dar a conocer la importancia de los gráficos de control en la industria alimentaria. Para ello, se recolectó la información a través de técnicas como la consulta de diferentes fuentes bibliográficas (libros, normas, trabajos de grado, páginas web) y se vació la misma en libretas de notas y computadoras. En tal sentido, los gráficos de control constituyen una de las herramientas básicas de calidad que se utilizan para evaluar el comportamiento de un proceso y están constituidos por límites de control (superior, central e inferior), subgrupo y la medida de la característica de calidad a ser evaluada. Existen normas COVENIN que contemplan información relacionada con los GC lo que indica que la industria venezolana cuenta con leyes para controlar los procesos y evaluar la calidad de sus productos. Los GC se distinguen entre gráficos por variables, atributos, multivariantes, CUSUM y EWMA, entre otros y los pasos para su construcción dependerán de la variable que se desee medir y del tipo de gráfico seleccionado para esto. Los casos de aplicación de gráficos de control en la industria alimentaria arrojaron información de procesos bajo control y fuera de control en los procesos de fabricación de hojuelas de maíz, atún enlatado, café en polvo, entre otros. Esto permite inferir que esta herramienta estadística es vital para diagnosticar el funcionamiento del proceso, monitorear la variabilidad, identificar las causas de variación y emplear acciones correctivas inmediatas para controlar estas desviaciones que afectan la calidad del producto final. Esto resulta beneficioso para toda empresa de alimentos porque ayuda a reducir costos y a incrementar la productividad.

Palabras clave: gráficos de control, calidad, industria alimentaria, herramientas básicas.

SUMMARY

Control charts (CG) have become a fundamental tool for statistical process control, since they compare information based on representative samples of the current state of quality characteristics against established limits and technical specifications, evaluating whether said quality characteristic Whether or not the quality of the production process is “under statistical control” and whether the process is capable of satisfying the technical specifications of the company and the client. It is a diagram that serves to examine whether a process is in a stable condition, or to ensure that it remains in that condition, with it the development of production processes and quality characteristics is controlled. The objective of this documentary-type work was to publicize the importance of control charts in the food industry. To do this, the information was collected through techniques such as consulting different bibliographic sources (books, standards, degree works, web pages) and it was poured into notebooks and computers. In this sense, control charts constitute one of the basic quality tools used to evaluate the behavior of a process and are made up of control limits (upper, central and lower), subgroup and the measure of the quality characteristic. to be evaluated. There are COVENIN standards that include information related to GC, which indicates that the Venezuelan industry has laws to control processes and evaluate the quality of its products. GCs are distinguished between graphs by variables, attributes, multivariate, CUSUM and EWMA, among others, and the steps for their construction will depend on the variable you want to measure and the type of graph selected for this. The cases of application of control charts in the food industry provided information on processes under control and out of control in the manufacturing processes of corn flakes, canned tuna, coffee powder, among others. This allows us to infer that this statistical tool is vital to diagnose the operation of the process, monitor variability, identify the causes of variation and employ immediate corrective actions to control these deviations that affect the quality of the final product. This is beneficial for every food company because it helps reduce costs and increase productivity.

Keywords: control charts, quality, food industry, basic tool.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de procedimientos adecuados para el estudio y control de los procesos productivos, es fundamental para mantener un nivel óptimo de calidad en los productos. En este sentido, la estadística juega un papel importante en todas las actividades empresariales relacionadas con la calidad pues proporciona un amplio abanico de técnicas que se pueden aplicar en el control de la misma.

El control estadístico de procesos (CEP) es una herramienta que ayuda en la toma de decisiones y facilita el proceso de mejora constante de una empresa debido a que permite recolectar y analizar datos que contribuyen a asegurar que los procesos cumplen los estándares. El CEP incluye la aplicación de varias herramientas de calidad como diagrama de flujo, diagrama de Pareto, hoja de inspección, diagrama de causa y efecto, diagrama de dispersión, histograma de frecuencia y gráficos de control.

Un gráfico de control es una herramienta en la cual se grafican un conjunto de datos de alguna medida estadística para una serie de muestras extraídas periódicamente de un proceso; además contiene límites de control y sirve para observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo (COVENIN 1995c; ISO 2003; Gutiérrez y De La Vara 2009). Independientemente del tipo de gráfico de control, éste muestra límites de control superior, central e inferior dentro de los cuales se encontrarán todas las observaciones de una característica usualmente empleada para evaluar el estado del proceso.

Además, es una técnica de vigilancia en línea que puede ser utilizada para la detección rápida de causas asignables (aquellas causas de variación de un proceso que no pertenecen al sistema habitual de causas aleatorias y que es necesario descubrir y eliminar para restituir el proceso a su comportamiento normal), estimar los parámetros del proceso de producción y obtener información para la mejora del proceso.

El factor que determina el éxito o fracaso de una empresa es el control de calidad de sus productos y/o servicios, por ello toda empresa debe inspeccionar el producto antes de enviarlo al cliente, pues de esta manera puede asegurarse de satisfacer las necesidades de los consumidores. Si bien es cierto que los sistemas y procedimientos no se pueden controlar al 100%, afortunadamente se cuenta con los gráficos de control que vienen siendo de gran ayuda para saber a ciencia cierta en qué estado se encuentra el proceso y así poder reparar cualquier deficiencia. En la industria alimentaria resulta de mucha importancia el empleo de los gráficos de control pues ellos contribuyen a mejorar la calidad del producto y el control del proceso, asegurando la reducción de errores durante la fabricación de productos.

Estos son empleados para controlar cada paso del proceso productivo, aceptar o rechazar lotes, mejorar lotes de productos y detectar fallas en los procesos y equipos involucrados. Todo esto conlleva a la mejora en la productividad de la empresa, por eso resulta una herramienta vital necesaria para toda organización. Por tal motivo, el presente trabajo documental tiene como finalidad exponer información relacionada con los gráficos de control y su aplicación en la industria alimentaria.

OBJETIVOS

GENERAL

Exponer la importancia de los gráficos de control en la industria alimentaria

ESPECÍFICOS

- Definir los aspectos básicos de los gráficos de control como herramienta básica de la calidad.
- Indicar la normativa relacionada con los gráficos de control.
- Clasificar los diferentes gráficos de control.
- Indicar los pasos para la construcción de los diferentes gráficos de control.
- Señalar los beneficios de la utilización de gráficos de control en la industria alimentaria.
- Analizar casos de aplicación de los gráficos de control en la industria alimentaria.

METODOLOGÍA

El presente trabajo modalidad Cursos Especiales de Grado, Área de Control de Calidad, se fundamentó en dar a conocer información relacionada sobre los gráficos de control estadístico y su importancia en la industria alimentaria y abarcó desde el concepto, tipos, pasos para la construcción de cada gráfico de control hasta los casos de aplicación de esta herramienta básica de calidad en los procesos de fabricación de productos como parte de la mejora continua que debe aplicar toda industria de alimentos.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este trabajo se basó en una investigación de tipo documental, ya que la recopilación de la información se realizó a través de fuentes ya existentes. Para Sampieri (2000), este tipo de investigación consiste en “detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o información recolectada actualmente”. Según García (2008), la investigación documental es el método de búsqueda de información a través de la revisión de textos, artículos, bibliografías y videos, ya existentes sobre un tema que puede ser utilizado, para dar inicio a una investigación. En este mismo contexto, para reunir información vinculada a los gráficos de control se procedió a la indagación, revisión y selección de variado material bibliográfico con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo.

NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Para la realización de este seminario se utilizó la investigación descriptiva, basada en la caracterización del tema a investigar. Fidias (2012)

la define “como la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”.

Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos que se refiere. Según Hernández (2003), “la investigación descriptiva busca especificar las propiedades, características y perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

En el presente trabajo se consideró la investigación descriptiva, cuyo enfoque estuvo orientado al desarrollo de los aspectos más relevantes de los gráficos de control como herramienta útil para la mejora de los procesos de la industria alimentaria.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la realización de este Trabajo de Investigación fue necesario la selección de las técnicas e instrumentos de recolección de datos como mecanismos para documentar la información recabada de la realidad. Al respecto, Méndez (1999) las define “como los hechos o documentos a los que acude el investigador y que le permiten obtener información que posteriormente se convertirá en conocimiento útil”.

En el mismo orden, los instrumentos para la recolección de datos son los recursos materiales que se emplean para recoger y almacenar información para que el investigador pueda acercarse a los fenómenos y así elegir la información de interés. Sabino (1996) expone que “un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda

valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”.

Por lo antes expuesto, en el presente trabajo se empleó la técnica revisión documental, pues se recurrió a diverso material bibliográfico (páginas web, textos, trabajos de grado) para recabar información necesaria acerca de los gráficos de control, además de consultar la información contenida en las normas COVENIN-ISO (3534-1:1995, 3534-2:1995, 9004-4:1995) y COVENIN (3209:1996, 3553:1999, 3140:1995). Aunado a esto, se utilizaron instrumentos de recolección de información como libretas de notas y computadoras que sirvieron para recopilar datos importantes para la ejecución de esta investigación.

MARCO TEÓRICO

GRÁFICOS DE CONTROL COMO HERRAMIENTA BÁSICA DE LA CALIDAD

La calidad se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos (ISO 2015). Aunado a esto, Jurán (2002) enfocó su filosofía relacionada con el tema en el desarrollo de productos de calidad que cumplieran con las especificaciones establecidas para lograr la satisfacción de los clientes. Para ello, empleó herramientas estadísticas para el análisis de los procesos.

La estadística juega un papel importante en todas las actividades empresariales relacionadas con la calidad, pues ésta proporciona herramientas que se aplican en el control de la misma. La utilización de este conjunto de herramientas o técnicas estadísticas es lo que se conoce como control estadístico de procesos y su principal objetivo es disminuir la variabilidad de los procesos y con ello, mejorar la calidad, disminuir el desperdicio, el rechazo de productos y la pérdida económica causada por retrabajos.

Según Gehisy (2017), “las herramientas básicas de calidad son una denominación dada de un conjunto fijo de técnicas gráficas identificadas como las más útiles en la solución de problemas relacionados con la calidad”; éstas son adecuadas para personas con poca formación en materia de estadística. Las siete herramientas básicas de calidad son:

- ✓ Diagramas de causa-efecto
- ✓ Planillas de inspección
- ✓ Diagramas de dispersión
- ✓ Diagramas de flujo
- ✓ Histogramas de frecuencia
- ✓ Gráficos de Pareto
- ✓ Gráficos de control

De estas siete herramientas básicas de calidad, una de las de mayor aplicación a nivel operativo o de fabricación corresponde a los gráficos de control porque con ellos se manejan un conjunto de datos y se emplea la estadística para analizar si los procesos se encuentran o no en un estado de control estadístico.

GRÁFICOS DE CONTROL

Los gráficos de control fueron ideados por Walter Shewhart en el año de 1920 para los Laboratorios Bell y, posteriormente fueron adoptados en el año 1940 por Edwards Deming como una técnica estadística importante que ha tenido gran difusión en el control de los procesos industriales (Zurita 2009). Aunado a esto, Martin y Suárez (2010) indica que los procesos de fabricación no siempre producen los mismos efectos, ya que los elementos que intervienen no siempre funcionan de forma exacta, dando lugar a cierta variabilidad, por lo tanto, es necesario investigar.

Según Bank (2012), la variabilidad que podría presentarse dentro de un proceso productivo se distingue entre dos tipos de causas: “fortuitas, aleatorias o no asignables” y “especiales, accidentales o asignables”. Las primeras, representan la variación natural presente en el proceso y no

pueden ser identificadas y corregidas debido a que forman parte de lo común, mientras que las causas asignables son aquellas que originan un aumento brusco en la variabilidad del proceso y ocurren de manera accidental por lo que pueden ser plenamente identificadas y eliminadas. Alfredo (2002) sostiene que, si el proceso opera sólo bajo la acción de causas fortuitas, se dice que se encuentra en estado de control estadístico, o simplemente “bajo control”. Si, por el contrario, se presentaran causas asignables en el proceso, éste se encontrará fuera de control.

Las causas asignables tienen su origen en cierta variabilidad en el rendimiento de una máquina, persona, material, entorno o cualquier otro elemento que participa en el proceso. Los gráficos de control permiten determinar las causas de variación, entre las cuales se encuentran las causas no asignables y las causas asignables.

CAUSAS NO ASIGNABLES

Estas causas son de poca significación y generalmente son ocasionadas por factores desconocidos poco probables debido al método de selección al azar. Las causas no asignables son evidenciadas por un patrón de variación estable y repetitivo (Singh *et al.* 2016). López y Gisbert (2018), las definen como “aquellas causas inevitables e inherentes al proceso, actuando cada una de ellas de forma insignificante y dando como resultado una variación aleatoria, muy difícil de corregir”. Estas aparecen en muchos instantes, son estables, pueden ser previstas y son debidas a muchas fuentes pequeñas. Ejemplo de causas no asignables: maquinaria con distinto grado de precisión, ya sea por distinta calidad o por desajustes internos dentro de lo especificado, ligeros desgastes en la maquinaria, ligeras fluctuaciones de temperatura del horno en el horneado del pan, entre otros.

CAUSAS ASIGNABLES

Estas causas generan variaciones significativas y debido a su carácter de imputabilidad normalmente pueden no estar presentes en el proceso, sin embargo, al evidenciarse su presencia, deben ser identificadas y eliminadas para que el proceso pueda alcanzar el propósito de estabilización. Capón y Rojas (2006) definen a las causas asignables como “aquellas fuentes de variación que pueden ser identificadas y que afectan el comportamiento del proceso, obteniéndose productos diferentes a los esperados”.

Asignables: “También llamadas esporádicas o accidentales, son fácilmente detectables y corregibles, ya que se asignan a una o varias causas concretas. Aparecen en instantes aislados, pueden ser irregulares, son imprevisibles, se deben a pocas fuentes importantes, reaparecen si no se toman medidas correctivas y se corrigen mediante actuaciones locales.” (López y Gisbert 2018).

Ejemplo de causas asignables en la industria de alimentos

Maldonado y Graziani (2007) identificaron las causas (ausencia de control en relación tiempo-temperatura de mezclado, mal diseño del sistema de alimentación del vapor, diseño inadecuado de los puestos de trabajo del operador, falta de estandarización en el diseño de las aspas, entre otros). Todas estas causas, agrupadas en las categorías de máquina, materia prima, métodos y mano de obra, fueron identificadas durante el proceso de fabricación de un producto cárnico enlatado (jamón endiablado) y afectaron el peso neto del producto.

Estas últimas son las causas que es necesario detectar y controlar, con el propósito de reducir las variaciones del proceso a su mínima expresión, a fin de que el producto o servicio se pueda brindar de un modo más constante y uniforme (Pineda 2009). En este sentido, los gráficos de control constituyen la herramienta más poderosa para analizar la variación en la mayoría de los procesos.

La norma COVENIN 3534-2 (1995) define a los gráficos de control como aquellos que poseen límites de control superior e inferior, en el cual se grafican los valores de alguna medida estadística para una serie de muestras o subgrupos. Además, éste muestra un límite central para ayudar a detectar la tendencia de valores graficados hacia uno u otro límite de control. Asimismo, Pineda (2009) los define como gráficos cronológicos con límites de control definidos.

Estos límites, calculados a partir de los datos del proceso, se presentan como líneas colocadas arriba y debajo de la línea central. Al mismo tiempo, Ingenio Empresa (2015) define a un gráfico de control como una de las herramientas de análisis y solución de problemas que muestra valores resultantes de la medición de una característica de calidad, ubicados en una serie cronológica. En él se establecen una línea central o valor nominal, que suele ser el objetivo del proceso o el promedio histórico, junto a uno o más límites de control, tanto superior como inferior, usados para determinar cuándo es necesario analizar una eventualidad.

Desde el punto de vista de la estructura general de un gráfico de control, éste posee varios elementos: una línea central y dos límites de control, uno superior (LCS) y otro inferior (LCI), que se establecen a ± 3 desviaciones típicas (sigma) de la media (la línea central). El espacio entre

ambos límites (LSC y LIC) define la variación aleatoria del proceso. Además, contiene una serie de puntos que representan la medida de una característica de calidad. Los puntos que exceden estos límites indicarían la posible presencia de causas asignables de variación (SENATI 2015) (Figura 1).

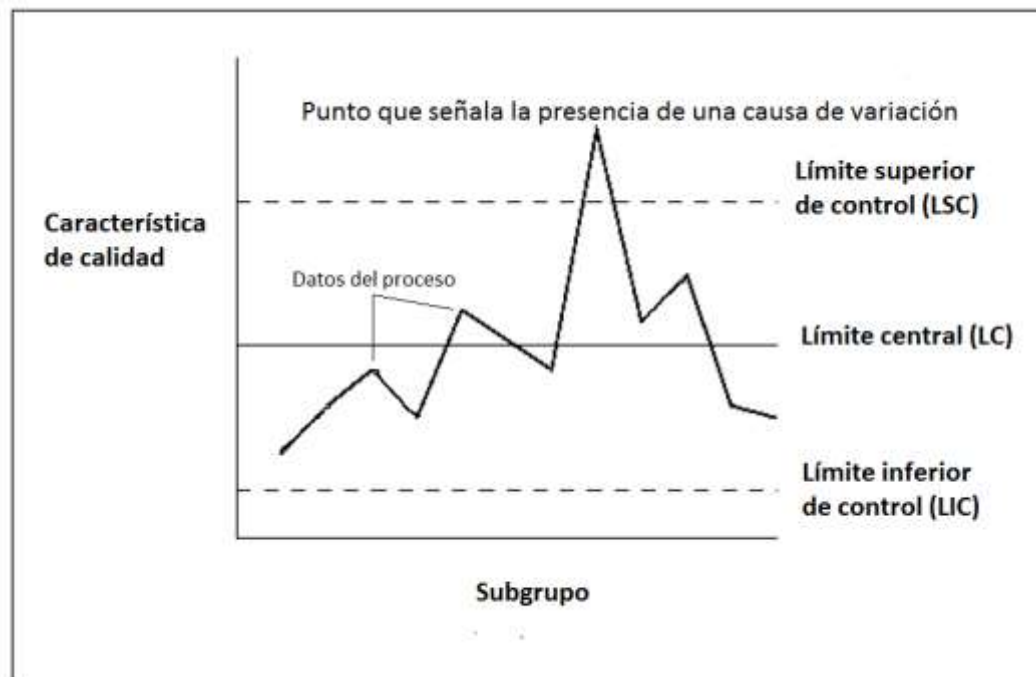


Figura 1. Estructura General de un Gráfico de Control

Fuente: Modificado de SENATI, 2015.

Martínez (2015), señala que la construcción de estas gráficas de control requiere que las muestras sean tomadas en forma de subgrupos racionales, en donde la probabilidad de variación dentro de una misma muestra sea mínima, mientras que de una muestra a otra sea máxima. Las variaciones dentro de una misma muestra se deben a causas aleatorias, mientras que las de una muestra a otra se deben a causas asignables.

Atendiendo a estas consideraciones, los gráficos de control detectan la presencia de anomalías en el proceso para descubrir y suprimir las posibles causas asignables de variación, así como también adoptar medidas preventivas como por ejemplo mejorar la capacidad de las máquinas de todo el proceso (análisis y diseño de proceso), realizar cambios en las normas de trabajo y de calidad, emplear materiales de mejor calidad, así como también educar y adiestrar los recursos humanos; de esta manera resulta provechoso aplicar dichas medidas para evitar la repetición de estas irregularidades y/o anomalías a futuro.

OBJETIVOS DE LA APLICACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Alonso (2001), señala de manera general que los objetivos fundamentales de los gráficos de control son los siguientes:

- Vigilar y controlar el proceso para lograr minimizar la producción de defecto.
- Aumentar la homogeneidad de la producción disminuyendo la variabilidad del proceso logrando una mejora continua.
- Evitar ajustes innecesarios.
- Determinar estadísticamente parámetros de control y proceso, conociendo mejor la actividad.
- Comparar la producción con las especificaciones de calidad y determinar la capacidad del proceso para máxima obtención.

Por otra parte, Ruíz (2017) indica que toda industria alimentaria exige la aplicación de los gráficos de control como una herramienta estadística que sirva para evaluar la estabilidad de los procesos industriales en la

elaboración de un producto. En este mismo orden de ideas, los gráficos de control sirven para evaluar la estabilidad de un proceso, cuándo es necesario ajustarlo y cuándo se debe dejar tal y como está, además confirmar la mejora del mismo.

NORMATIVA RELACIONADA CON LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Entre las normas relacionadas que se encuentran en concordancia a los gráficos de control en la industria se pueden mencionar las siguientes:

- **COVENIN-ISO 3534-1:1995- Estadística. Vocabulario y símbolos parte 1: términos relativos a probabilidades y estadística general.** La presente norma venezolana se basa en la definición de los términos de las probabilidades y estadísticas generales que se deben considerar en la aplicación de un gráfico de control. Además de esto, define los símbolos para un número limitado de estos términos; esta última información se aborda en el punto de términos estadísticos generales (COVENIN-ISO 1995a)
- **COVENIN-ISO 3534-2:1995- Estadística. Vocabulario y símbolos parte 2: control estadístico de la calidad.** Esta norma venezolana define términos de control estadístico de la calidad que pueden ser usados y tomados en cuenta en el desarrollo de investigaciones respecto a aplicaciones de los gráficos de control. (COVENIN-ISO1995 b)
 - Define términos de control estadístico de la calidad.
 - Términos relativos al muestreo y al muestreo para aceptación.

- Términos relativos a mediciones de procesos; donde se muestran terminologías de interés en cuanto a gráficos de control y sus componentes.
- **COVENIN-ISO 9004-4:1995- Gestión de la calidad y elementos del sistema de la calidad parte 4:** lineamientos para el mejoramiento de la calidad. En esta norma se suministran los lineamientos a la dirección para la implementación del mejoramiento continuo de la calidad dentro de una organización. En la misma se mencionan las diversas herramientas y técnicas para el mejoramiento de la calidad citando entre ellas: formulario de recolección de datos, tormenta de ideas, diagrama causa-efecto, diagrama de flujo, histograma, diagrama de Pareto, diagrama de dispersión y gráficos de control, entre otros. Aunado a esto, se detalla para cada herramienta la aplicación, descripción, procedimiento y ejemplos de cada una de ellas. (COVENIN-ISO 1995)
- **COVENIN 3777-1:2002- Directrices para la implementación del control estadístico de procesos (CEP)- parte 1:** elementos del CEP. Esta norma emplea el control estadístico de procesos (CEP) con la finalidad del uso de técnicas estadísticas y/o algoritmos de control estadístico para alcanzar uno más de los siguientes objetivos: (COVENIN 2002)
 - a) Aumentar el conocimiento acerca de un proceso.
 - b) Ajustar un proceso para que se comporte de la manera deseada.
 - c) Reducir la variación de los parámetros del producto final, o mejorar el desempeño del proceso de alguna otra manera.
- **COVENIN 3208:1996- Gráficos de control. guía general e introducción.** Esta norma se basa en presentar los elementos claves y las filosofías del uso e identificación de amplias variedades de gráficos de control, incluyendo los gráficos de control relacionados con Shewhart y

los relacionados con la aceptación de los procesos en línea (COVENIN 1996).

- **COVENIN 3209:1996- Gráficos de control para promedio aritmético con límites de advertencia.** En esta norma se especifican todos los procedimientos para el control estadístico de los procesos, mediante gráficos de control con base en el cálculo del promedio aritmético de una muestra, utilizando los límites de advertencia y los límites de acción. (COVENIN 1999)
- **COVENIN 3553:1999 (ISO 7966:1993)- Gráficos de control de aceptación.** Proporciona información sobre el uso de gráficos de control de aceptación y establece procedimientos generales para determinar tamaños de muestra, límites de acción y criterios de decisión. (COVENIN 1999, ISO 1993)
- **COVENIN 3140:1995 (ISO 8258:1995). Gráficos de control de Shewhart.** Establece una guía para comprender y utilizar el enfoque de los gráficos de control de Shewhart dentro de los métodos para el control estadístico de un proceso. (COVENIN 1995c, ISO 1995).

Toda empresa de alimentos que desee mantener el control de sus procesos a través de la aplicación de gráficos de control como herramienta para reducir las variaciones en las mediciones de calidad de sus productos debería tomar como guía todas estas normas relacionadas con gráficos de control a fin de que les sirvan de orientación para el desarrollo de procesos y productos alimenticios de calidad que cumplan con las especificaciones establecidas a fin de satisfacer las necesidades de los consumidores.

CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES GRÁFICOS DE CONTROL

Huerga *et al.* (2016) señala que los gráficos de control se clasifican en dos grandes bloques: gráficos de control por variables, cuando la característica sea cuantitativa y gráficos de control por atributos, en caso de ser cualitativa. Otros autores como Gutiérrez y De La Vara (2009) coinciden en esta clasificación con excepción de los gráficos CUSUM y EWMA que son agrupados como gráficos especiales u otros gráficos (Figura 2).

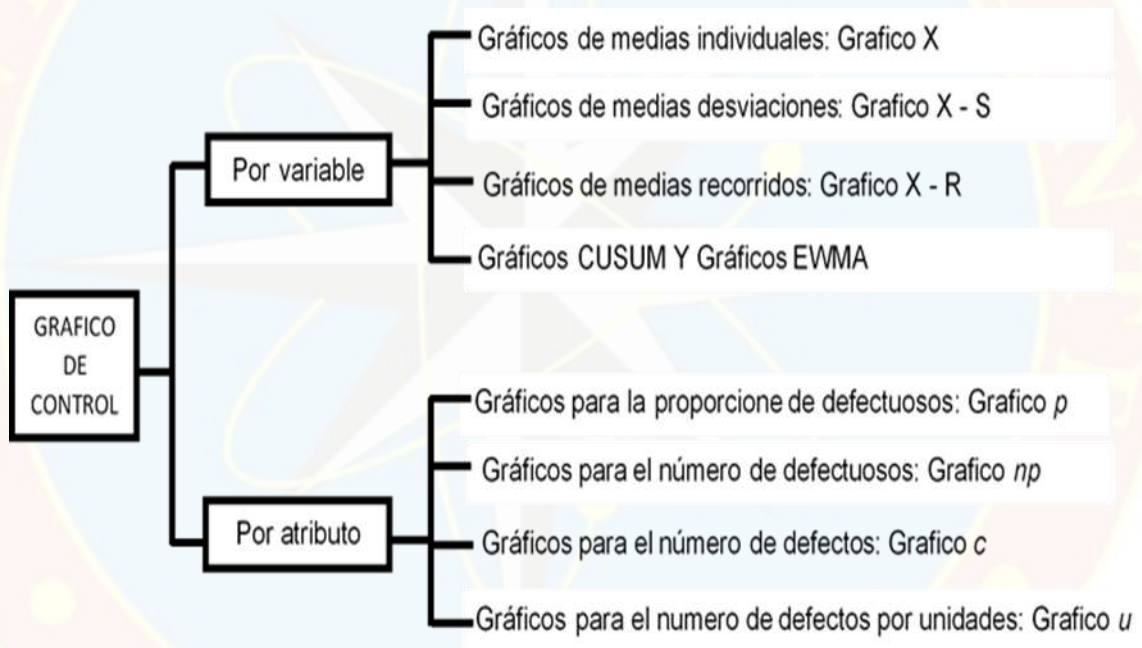


Figura 2. Clasificación de los Gráficos de Control

Fuente: Huerga y Abad, 2000.

GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES

Los gráficos de control por variable, según Gutiérrez (2012), son gráficos basados en la observación de la variación de las características medibles del proceso o del servicio, ya que simplifican el análisis de las

situaciones numéricas complejas y a su vez muestran de forma clara la variabilidad de los resultados de un proceso, en relación a una determinada característica con respecto al tiempo. Por otra parte, Moreno (2010), define que los gráficos de control por variables también hacen uso de estadísticos obtenidos a partir de datos tales como la longitud o grosor de un elemento, sin embargo, es posible medir la característica de calidad a estudiar; en estos casos conviene describirla mediante una medida de tendencia central (usualmente la media muestral) y una medida de su variabilidad (frecuentemente el rango o la desviación estándar).

Estos gráficos por variables se basan en una distribución normal y los datos representan observaciones obtenidas midiendo y registrando magnitud numérica para cada una de las unidades del subproducto considerado (Alonso 2001). A nivel industrial se emplean formatos para recabar información necesaria para los gráficos de control por variable. En la Figura 3 se muestra un ejemplo del formato utilizado para gráficos de control por variables donde se puede observar que se requiere llenar información pertinente a la empresa, proceso de producción, medidas tomadas de la característica de calidad a evaluar, espacios para colocar ambos gráficos, constantes necesarias para los cálculos y medidas para la interpretación de los gráficos de control (Berlinches 2002).

En este mismo sentido, Hubbard (2003) y Abo (2018) sostienen que los gráficos de control por variables son usados en la industria alimentaria para monitorear las características de calidad que pueden ser medidas y presentarse en escala continua, tales como peso, altura, volumen, pH, porcentaje de sólidos solubles, temperatura, porcentaje de acidez titulable, entre otros.

Planta:	Depto:	Operación:	Especificación:	Nº de pieza:
Máquina nº:	Fecha:	Variable:	Tamaño/Frecuencia:	Denominación:

$\bar{x} =$ $LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R}$ $LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R}$		MEDIAS	
LSC _x			
\bar{X}			
LIC _x			
$\bar{R} =$ $LSC = D_4 R$ $LIC = D_3 R$		RECORRIDOS	
LSC _R			
\bar{R}			

Fecha									
Hora									
1									
2									
3									
4									
5									
Suma									
Meda									
R									

n	A ₂	D ₃	D ₄
2	1,00	-	3,27
3	1,00	-	2,57
4	0,73	-	2,28
5	0,58	-	2,11
6	0,48	-	2,00
7	0,42	0,80	1,93
8	0,37	0,14	1,88
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78

Figura 3. Formato General para un Gráfico de Control por Variables
Fuente: Berlinches, 2002.

Por ejemplo, durante el proceso de fabricación de una bebida embotellada en una empresa de alimentos se podría considerar la medición de la cantidad de líquido de las botellas obteniéndose diferentes valores. Otros ejemplos de características de calidad medibles en la industria de alimentos son el peso de la bolsa de azúcar, la temperatura del horneado del pan, el diámetro del tubo plástico, entre otros.

Por su parte, Marcano (2014), aclara que en cualquier proceso productivo resulta conveniente conocer en todo momento hasta qué punto del proceso los productos cumplen con las especificaciones preestablecidas. Se puede decir que la calidad de un producto tiene dos grandes “enemigos”: (1) las desviaciones con respecto a los objetivos especificados planteados (falta de exactitud) y (2) una excesiva variabilidad respecto a los valores deseables (falta de precisión). Por otro lado, Escalona *et al.* (2015) señala que los gráficos de control por variables son más “sensibles” en comparación con otros gráficos, razón por la cual son capaces de “avisar” de posibles problemas de calidad incluso antes de que éstos sean ya relevantes.

A continuación, se desarrollarán los tipos de gráficos de control por variables en orden de importancia y mayor utilidad donde el gráfico X-R toma el primer lugar:

- ✓ **Gráfica X-R:** es un diagrama especialmente preparado donde se van anotando los valores sucesivos de las características de calidad, obtenidas de un instrumento de medición, que se están controlando. López y Gisbert (2018) sostienen que este tipo de gráfica está representada por dos tipos de gráficos que son complementarios el uno del otro. En el gráfico X se representan las variables de los promedios de los subgrupos o muestras; y en el R se indican las variaciones de los recorridos de las mismas.

Para Blanco (2015), los gráficos de media (X) vs rango (R), también llamados gráficos XR, “son gráficos realizados para el seguimiento estadístico del control de calidad que permiten detectar la variabilidad, consistencia, control y mejora de un proceso productivo”. Los gráficos X-R son utilizados para el análisis estadístico en cualquier sector que requiera la

medición y el análisis de datos variables. La fiabilidad de los datos de estos gráficos y su posterior análisis depende en gran parte de la forma de adquirir estos datos. Para entender los gráficos X-R, es necesario conocer el concepto de subgrupos (o subgrupos racionales).

Trabajar con subgrupos significa agrupar las mediciones que se obtienen de un proceso, de acuerdo a algún criterio. Los subgrupos se realizan agrupando las mediciones de tal modo que haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo, por ejemplo, si hay cuatro turnos de trabajo en un día, las mediciones de cada turno podrían constituir un subgrupo.

Las gráficas de control X-R son fáciles de preparar, simples para entender y extremadamente usadas para localizar problemas y sugerir posibles soluciones (Hubbard, 2003). En la Figura 3 se pueden evidenciar el gráfico de medias que está constituido por las medias (eje de ordenadas) de la característica de calidad (peso neto de cinco bolsas de un producto en polvo tomado cada 20 minutos a lo largo del proceso de producción) identificadas como una serie de puntos a lo largo del gráfico; además están presentes el límite superior de control (LSC) ó UCL (Upper control limit), por sus siglas en inglés, Límite central = $\bar{\bar{X}}$ y límite inferior de control (LIC) ó LCL (lower control limit) y el subgrupo o número de muestras en el eje de las abscisas.

Por otro lado, se observa el gráfico R que está integrado por varios elementos: valores de rangos (eje de ordenadas), límites superior (UCL) e inferior (LCL) y el rango promedio como Límite central = $\bar{\bar{R}}$. Además, se

muestra en este último gráfico el número de muestras o subgrupos y el conjunto de puntos observados a lo largo del gráfico.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un gráfico X-R empleado para controlar la media y la variabilidad del peso de los envases de legumbres secas procedentes de la máquina A de la empresa alimentaria. Para construir este gráfico la empresa consideró 30 muestras de tamaño 8 tomadas a intervalos de 30 minutos. No obstante, hay que señalar que los límites que aparecen en los gráficos son sólo tentativos puesto que si se descubren causas asignables deben eliminarse las muestras correspondientes y proceder a calcular nuevos límites. Sólo cuando los límites permitan juzgar que el proceso se encuentra en control estadístico, se pueden considerar como límites definitivos y utilizarlos para controlar la producción futura (Huerga y Abad 2000).

En general, la gráfica X-R se usa para controlar una característica de calidad continua tomando muestras de tamaño entre 2 y 10. El tamaño de muestra de cada subgrupo no debe exceder de 10 porque el rango pierde sentido como representante de la variación ante muestras mayores a 10, debe ser al menos 2 porque si es 1 ya no se llamaría gráfico de control de medias y rangos sino gráfico de control de lecturas individuales (Escalante 2006). Así pues, los gráficos de control X-R son los más empleados a nivel industrial, puesto que son utilizados para el análisis estadístico en cualquier sector que requiera la medición y el análisis de datos variables.

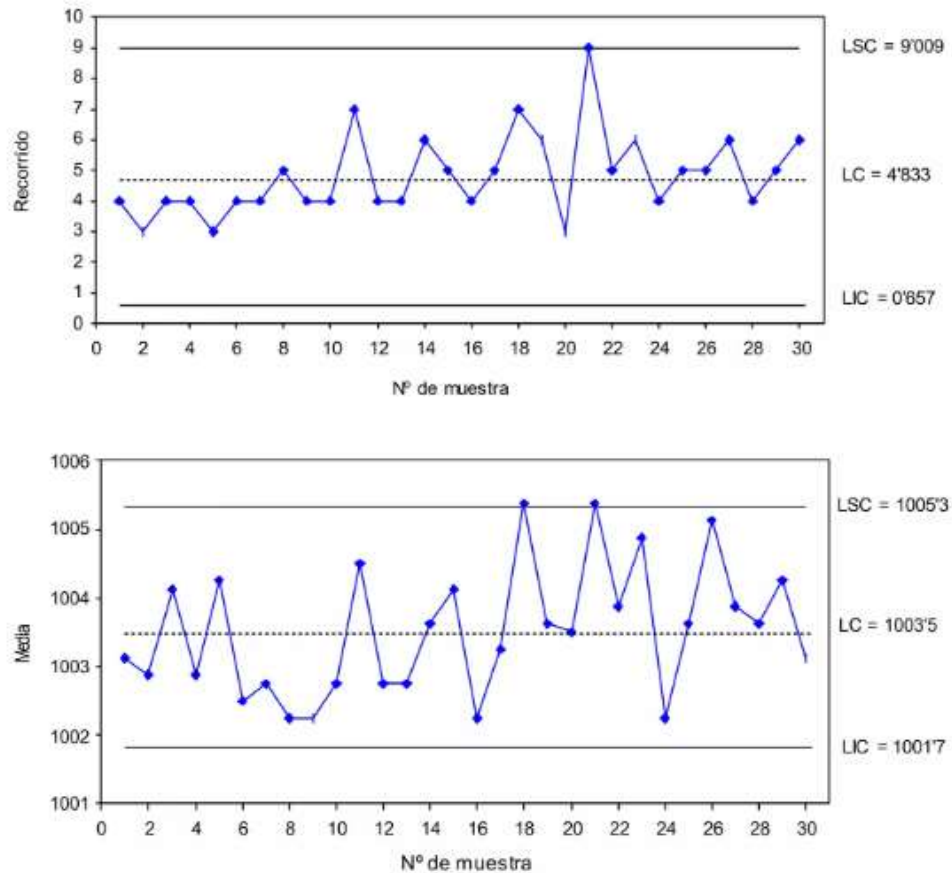


Figura 4. Gráficos de Control de Medias (X) y Rangos (R) para el control de calidad de las legumbres secas.

Fuente: Huerga y Abad, 2000.

- ✓ **Gráfica X-S:** básicamente éste es análogo al gráfico X-R y presenta la ventaja de ser más eficaz estimando la variabilidad. Al igual que el gráfico X-R, se compone de dos gráficos. En uno se representan las variables de los promedios de los subgrupos o muestras (X) y en el otro, las variaciones de las desviaciones estándar (S) de las mismas (López y Gisbert 2018).

Según Kume (1992) establece que, estos gráficos nos proporcionan una base en la toma de decisiones durante la producción: cuando investigar las causas de variación, cuando tomar una acción, cuando dejar solo el proceso, aceptación o rechazo de un producto y reducción de costos de inspección. Tienen como objetivo establecer o cambiar especificaciones, para determinar si un proceso puede cumplir con lo especificado, establecer o cambiar un proceso de producción, establecer o cambiar un procedimiento de inspección y de aceptación o ambos.

Para obtener la gráfica de medias y desviaciones estándar X-S es necesario que la característica del producto se haya definido con un tipo de análisis variable y tamaño de muestra mayor a 5. Cada punto de la gráfica de medias es el promedio de las muestras de un subgrupo; cada punto de la gráfica de desviaciones es la desviación estándar interna de cada subgrupo. Los límites de control se calculan a partir de la desviación estándar promedio y delimitan una zona de 3 desviaciones estándar de cada lado de la media (Blanco 2015). En la Figura 5 se muestra un ejemplo de la estructura del gráfico X que refleja los tres límites de control (LCS, LC, LCI) así como las mediciones de la característica de calidad (eje de ordenadas) y el subgrupo en el eje de las abscisas.

Gráfica I-RM: es un diagrama para variables de tipo continuo que se aplica a procesos lentos y/o donde hay un espacio largo de tiempo entre una medición y la siguiente. Son dos gráficas donde la primera (I) enfoca las lecturas individuales y la otra refleja los rangos móviles (RM); cuya medición es de utilidad para detectar cambios en la dispersión del proceso. Sin embargo, se dice que la carta de individuales es suficientemente robusta para detectar cambios tanto en la media como en la dispersión del proceso, ya que cuando una medición individual se dispara esto afecta directamente

los dos rangos móviles en los que participa. Por ello, hay una tendencia a utilizar sólo la carta de individuales. En lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos como es el caso de la carta X-R, se emplea en procesos lentos, en los cuales para obtener una medición o una muestra de la producción se requieren periodos relativamente largos. Ejemplos de este tipo de procesos son: procesos químicos que trabajan por lotes, industria de bebidas alcohólicas, en las que deben pasar desde una hasta más de 100 horas para obtener resultados de los procesos de fermentación y destilación (Gutiérrez y De La Vara 2009). En la Figura 6 se muestran un ejemplo de gráficos de control de lecturas individuales y rangos móviles empleados en industrias de alimentos.

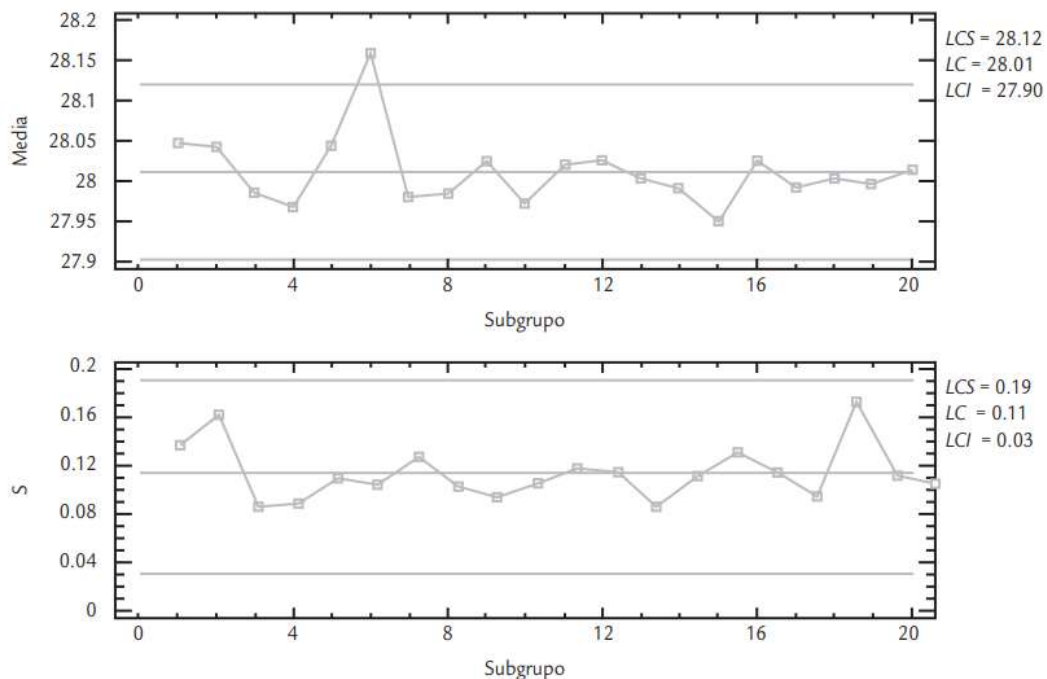


Figura 5. Ejemplo de gráfico de medias (X) y desviación estándar (S)

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2004.

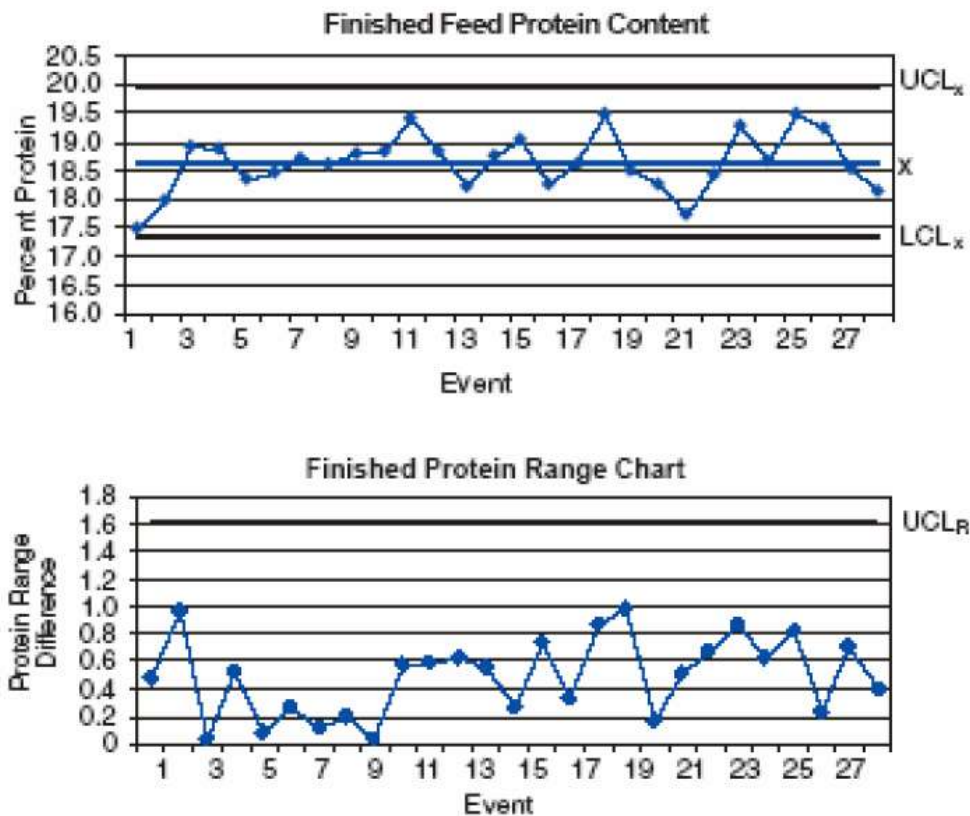


Figura 6. Gráfico de lecturas individuales y rango móvil para el porcentaje de proteína de un producto terminado en 28 muestras.

INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Proceso bajo control: cuando todos los datos están dentro de los límites de control del gráfico y su distribución es aleatoria, se adopta el criterio que el proceso es estable “está bajo control” desde el punto de vista estadístico; es decir, que tiene variación controlada dentro de límites predecibles hacia el futuro cercano. La variación normal ocurre típicamente dentro de los límites de control superior e inferior que se encuentran ubicados a más y menos tres desviaciones estándar de la media. Es de destacar que en más y menos tres desviaciones estándar se encuentra el

99,7% de los valores de la población en una distribución normal, entonces existe una probabilidad de 3 en 1,000 (0,27 %) de que una medición caiga fuera de los límites de control debido a una causa aleatoria (Cunningham 2000).

La mayoría de las empresas que emplean gráficos de control para el monitoreo de sus procesos, trabajan bajo la metodología 2 o 3 σ la cual se basa en una curva de distribución normal, y a una, dos y tres desviaciones estándar medidas a cada lado de la media aritmética (para conocer el nivel de variación de cualquier actividad), tal y como se muestra en la Figura 7 (Berardinelli 2017). Los diferentes límites de control suelen establecerse a una distancia a menos de un sigma (Zona C) o límite central, la comprendida entre una y dos sigmas (zona B o límites de aviso) y la última zona entre dos y tres sigmas se denomina zona A o límites de acción. La identificación de estas zonas en el gráfico de control es muy importante porque ayuda a facilitar su interpretación.

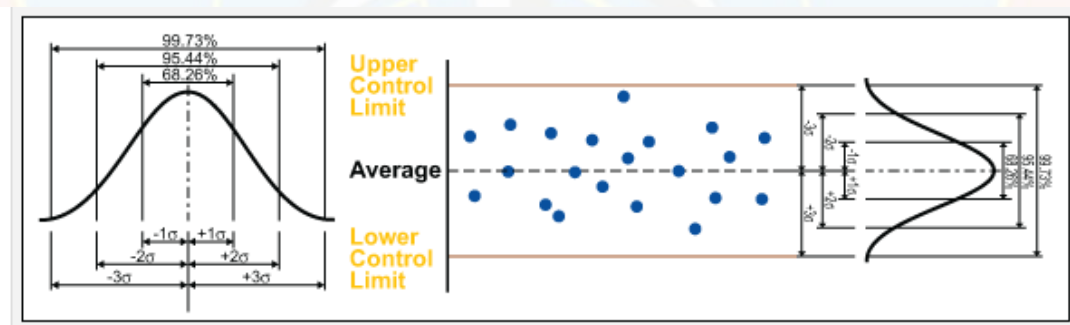


Figura 7. Relación del Gráfico de Control con la Curva de Distribución Normal

Fuente: Berardinelli, 2017.

En general, se establecen los límites de control a 3 desviaciones estándar de distancia a la línea central. Se usa como base para juzgar si hay

evidencia de falta de control. La elección de los límites 3σ es más económica, con respecto a dos tipos de errores que se pueden presentar. El error Tipo I ocurre cuando se busca una causa asignable de variación, cuando en realidad está presente una causa fortuita. Cuando los límites se establecen a 3 desviaciones estándar, un error Tipo I, se presentará durante 0,27 % (3 por 1000) del tiempo. En otras palabras, cuando un punto se sale de los límites de control, se supone que se debe a una causa asignable aun cuando pueda ser una causa fortuita 0,27 % del tiempo.

El error Tipo II, se presenta cuando se supone que hay una causa fortuita de variación, cuando realmente está presente una causa asignable, es decir, cuando el punto está dentro de los límites de control se supone que es debido a una causa fortuita o común, aun cuando podría deberse a una causa asignable (Besterfield 2009).

Los procesos industriales siempre tendrán algo de variabilidad, aunque se encuentren bajo control, es por esa razón que un producto nunca será idéntico a otro. Esta variabilidad natural se debe comparar con la amplitud de las tolerancias o especificaciones para determinar si el proceso, además de estar bajo control estadístico, es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas por la empresa (López y Gisbert 2018).

Este cumplimiento es determinado a través de la capacidad de procesos en la cual se calculan algunos índices y se comparan con los patrones establecidos para estos índices. Según Delgado (2008), es fundamental tener siempre presente que el análisis de la capacidad del proceso sólo se puede llevar a cabo una vez que la utilización de los gráficos de control permita tener la tranquilidad de que el proceso se encuentra bajo control estadístico.

Según Gutiérrez y De La Vara (2009), la capacidad de procesos consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada; esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones). Zamora (2012) refiere que la evaluación de la capacidad de procesos para el caso de los gráficos de control por variables se realizará comparando la variabilidad del proceso con los límites de especificación. Para Ponsati y Canela (2002), el objetivo de un estudio de capacidad de procesos es verificar que un proceso es capaz respecto a un cierto requisito, que se refiere a un indicador.

Para analizar la capacidad de un proceso y extraer conclusiones válidas éste debe hallarse en una situación de control estadístico, es decir, que las pautas que rigen la variabilidad del proceso deben ser conocidas y permanecer estables. De acuerdo con Gutiérrez y De La Vara (2009), el cálculo de la capacidad de procesos se realiza a través de varios índices (Cp, Cpk, K, entre otros) que se mencionan a continuación:

El Cp (índice de capacidad potencial del proceso) es un indicador de la capacidad potencial de un proceso que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso. Al mismo tiempo, Escalante (2006) sostiene que el Cp es una comparación entre los límites de especificaciones (tolerancia) y los límites del proceso sin tomar en cuenta la ubicación del mismo. El Cp sólo mide la dispersión del proceso sin considerar localización o centrado del proceso (Alonso, 2001). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Donde:

ES= límite superior de especificación

EI= límite inferior de especificación

σ = desviación del proceso

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones se requiere que la variación real (natural) sea menor que la variación tolerada (especificaciones). En este sentido, Gutiérrez y De La Vara (2009) presentan algunos valores que permiten la interpretación y verificación del cumplimiento del Cp donde se observa que si el resultado del cálculo del Cp es mayor o igual que dos (2) y mayor que 1,33 habrá cumplimiento total de las especificaciones (Figura 8). Esta son las condiciones ideales en un proceso.

Mientras que el resto de los valores de Cp reflejarán cumplimiento parcial si los resultados están comprendidos entre 1 y 1,33 y el resto indicará incumplimiento de las especificaciones por lo que la empresa tendría que emplear las acciones correctivas pertinentes para ajustar el proceso a las especificaciones (Figura 8).

Gutiérrez y De la Vara (2009) señalan que si al analizar el proceso, éste se encuentra que su capacidad para cumplir especificaciones es mala, entonces algunas alternativas de actuación son: mejorar el proceso (centrar y reducir variación), su control y el sistema de medición, modificar tolerancias o inspeccionar al 100% los productos. Por el contrario, si hay una capacidad excesiva, ésta se puede aprovechar, por ejemplo: con la venta de la precisión o del método, reasignando productos a máquinas menos precisas, así como al acelerar el proceso y reducir la cantidad de inspección.

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

Figura 8. Interpretación del índice de capacidad de procesos (C_p).

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

El índice de capacidad real del proceso (C_{pk}) es el valor que refleja la proximidad de la media actual del proceso al límite de especificación superior o bien al límite de especificación inferior. El C_{pk} considera localización, centrado del proceso (Alonso 2001). El C_{pk} se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left\{ \frac{\bar{x} - EI}{3\sigma} \mid \frac{ES - \bar{x}}{3\sigma} \right\}$$

Donde:

ES= límite superior de especificación

EI= límite inferior de especificación

\bar{S} = desviación del proceso

- La palabra “Mínimo” en la ecuación significa que el valor de C_{pk} será el menor que se obtendrá de ambos resultados. Según Besterfield (1995) el valor de C_{pk} igual al C_p indicará que el proceso está centrado en relación a las especificaciones. Aunado a esto, Gutiérrez y De La Vara (2009) muestran algunas consideraciones adicionales a tomar en

cuenta para la interpretación del Cpk, las cuales se mencionan a continuación:

- Cpk siempre es igual o menor que Cp. Cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.
- Si el valor del índice Cpk es mucho más pequeño que el Cp, significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice Cpk estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice Cp.
- Cuando el valor del índice Cpk sea mayor a 1,25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que $Cpk > 1.45$.
- Es posible tener valores del índice Cpk iguales a cero o negativos, e indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Sumado a esto Besterfield (1995) indica lo siguiente en relación al Cpk:

- El valor Cpk igual a 1 es un estándar o norma consagrado por la práctica. Indica que en ese proceso se está obteniendo un producto que satisface las especificaciones.
- El valor Cpk menor que 1 es indicación de que mediante el proceso se está obteniendo un producto que no satisface las especificaciones.

El índice de localización del proceso (K) es un indicador de qué tan centrada está la distribución de un proceso con respecto a las

especificaciones de una característica de calidad dada (Gutiérrez y De La Vara 2009). Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \times 100$$

Donde:

K= índice de localización del proceso

μ = media del proceso

N= media de las especificaciones

ES= límite superior de especificación

EI= límite inferior de especificación

El indicador K mide la diferencia entre la media del proceso, μ , y el valor objetivo o nominal, N, para la correspondiente característica de calidad; y compara esta diferencia con la mitad de la amplitud de las especificaciones. Multiplicar por 100 ayuda a tener una medida porcentual (Gutiérrez y De La Vara 2009).

- Si el signo del valor de K es positivo significa que la media del proceso es mayor al valor nominal y será negativo cuando $\mu < N$.
- Valores de K menores a 20% en términos absolutos se consideran aceptables, pero a medida que el valor absoluto de K sea más grande que 20%, indica un proceso muy descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a que la capacidad del proceso para cumplir especificaciones sea baja.
- El valor nominal, N, es la calidad objetivo y óptima; cualquier desviación con respecto a este valor lleva un detrimento en la calidad. Por ello, cuando un proceso esté descentrado de manera significativa se deben

hacer esfuerzos serios para centrarlo, lo que por lo regular es más fácil que disminuir la variabilidad.

Según Yogi (2017), los estudios de capacidad de procesos tienen un impacto significativo debido a que investigan la variación del proceso en relación a las especificaciones y esto es importante para lograr las características de calidad del producto. A continuación, se mencionan algunos casos de capacidad de procesos en la industria de alimentos:

Muñoz (2004) aplicó el control estadístico de procesos empleando gráficos de control y calculó la capacidad de procesos en diversos procesos de fabricación de sus productos. Durante cinco semanas se tomaron muestras en el peso y las medidas del producto y se realizaron los gráficos correspondientes y se calculó la capacidad del proceso. Obtuvieron valores de C_p menores que 1 (0,38 a 0,57) en producto semiterminado y (0,29 a 0,42) en producto terminado, por lo que hubo incumplimiento de las especificaciones en la mayoría de los procesos de fabricación de sus productos (jarabe para bebida gaseosa, bebida instantánea, (Jarabe para productos de mesa, salsa para productos de mesa, condimento para productos de mesa, dulce de caramelo, galleta con chocolate en barra (semiterminado y terminado)). En general, los resultados demostraron que no se cumplen con las especificaciones de la empresa y se recomendó la revisión y ajuste de los procesos.

Yogi (2017) determinó la capacidad de procesos al calcular los índices para cuatro tipos de bebidas gaseosas fabricadas en una empresa de la India. Esto lo realizaron después de haber determinado que el proceso estaba bajo control estadístico. Concluyeron que tres de las cuatro bebidas presentaron procesos que cumplieron con las especificaciones.

Proceso fuera de control: si por el contrario, hay datos fuera de los límites de control o si su distribución no es aleatoria, el criterio es que el proceso tiene causas especiales o asignables de variación y que, por consiguiente, está fuera de control, no tiene identidad y su desempeño, costo y calidad son impredecibles (Cunningham 2000). Para facilitar la identificación de patrones no aleatorios, lo primero que se hace es dividir el gráfico de control en seis zonas o bandas iguales denominadas zona A, B y C, con una amplitud similar a la desviación estándar del estadístico (Gutiérrez y De la Vara 2004). Estos patrones se conocen como las Reglas de Western Electric y permiten determinar si el proceso está fuera de control como indicativo que están presentes causas especiales de variación. Según López (2008), son los siguientes (Figura 9):



Figura 9. Reglas de Western Electric recomendadas para determinar las causas especiales de variación en un gráfico de control.

Fuente: Gonzáles y Jiménez, 2001.

Si se quiere estimar los parámetros del proceso “bajo control”, se deben eliminar las muestras que han sido tomado “fuera de control”. Cada vez que se elimina una muestra se deben volver a estimar los parámetros, recalculando los gráficos, y, si alguna muestra se sale del gráfico, volver de nuevo a estimar los parámetros, recalculando los gráficos..., así hasta que todas las muestras están dentro de los gráficos.

GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Son gráficos en los que la variabilidad y la tendencia central de la característica de calidad son de tipo discreto, donde el proceso se juzga conforme o no conforme dependiendo de si posee ciertos atributos; o también al producto o proceso se le podrían contar el número de disconformidades o no conformidades que tiene (COVENIN 1995c).

Por su parte, Franco (2016), define las gráficas de control por atributos como gráficas utilizadas para estudiar el cambio del proceso a través del tiempo. Por otro lado, Abo (2018) sostiene que los gráficos de atributos son usados para monitorear las características que tienen valores discretos y que pueden contarse rápidamente para saber si la calidad del atributo que se está evaluando es aceptable. Ejemplos de estos atributos son el color, sabor, olor, entre otros y éstos son obtenidos a través de inspección visual. El monitoreo de estos atributos requiere solo una decisión simple tal como si o no, bueno o malo, defectuosos o no defectuoso, aceptable o inaceptable. Por ejemplo: la manzana está buena o podrida, la carne está buena o vieja, número de galletas rotas en una caja, número de defectos en paquetes de harina, cantidad de alfajores defectuosos en el proceso de producción, entre otros.

En la empresa de alimentos es necesario emplear formatos para recopilar información de las medidas que se requieren estudiar del proceso productivo. A continuación, se muestra un ejemplo del formato para reportar información de los gráficos de control por atributos (Figura 10).

Planta:	Depto:	Operación:	Especificación:	Nº de pieza:
Máquina Nº.:	Fecha:	Variable:	Tamaño/Frecuencia:	Denominación:
<p>p <input type="checkbox"/> np <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> u <input type="checkbox"/></p>		<p>Media = LSC = LIC =</p>		
				
Fecha				
Hora				
Tipo de discrepancia				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
Total discrepancias				
Proporción o %				
Tamaño de la muestra				

Figura 10. Formato General para un Gráfico de Control por Atributos
Fuente: Berlinches, 2002.

Los tipos de gráficos de control por atributos son los siguientes:

P chart: es una gráfica por atributos que busca controlar la fracción de piezas no conformes que fabrica un proceso. Se fundamenta en la

aproximación normal a la Distribución Binomial, la cual utiliza como estadístico de control a " p ", proporción de muestras no conformes. " p " representa el promedio histórico de la proporción de no conformes, y " n " el tamaño del subgrupo racional. Los límites de control para " X " por criterio son de tres sigmas, utilizando la aproximación normal a la binomial. Dado que la distribución exacta de " X " es conocida cuando el proceso está bajo control, pues sigue una Binomial con parámetros " n " y " p ", en esta gráfica es posible obtener los límites de control con criterio probabilístico, que usualmente resultan más estrechos que con criterios de tres sigmas.

En ocasiones resulta más cómodo representar directamente la cantidad de unidades defectuosas en la muestra en vez de su proporción, en este caso el gráfico de control correspondiente se denomina np puesto que en ordenadas se representa esa magnitud. Este tipo de gráfico resulta cómodo cuando el tamaño de muestra es constante (Escalante 2006). La gráfica P es útil para poder controlar el número de productos defectuosos, usando muestras que pueden ser de tamaño constante o variable, con estos datos se puede obtener la fracción defectuosa a la cual se le llama P .

El procedimiento Gráfico p crea un gráfico de control para datos que describe la proporción de veces que ocurre un evento en m muestras tomadas de un producto o proceso. Los datos podrían representar la proporción de artículos defectuosos en un proceso de manufactura, la proporción de clientes que regresan un producto, o cualquier otro atributo que pueda ser clasificado como aceptable o inaceptable. Se resaltan las señales de fuera-de-control, incluyendo tanto puntos más allá de los límites de control como cualquier secuencia atípica en los datos. En las Figuras 11 y 12 se muestra un ejemplo del gráfico p aplicado en una empresa alimentaria.

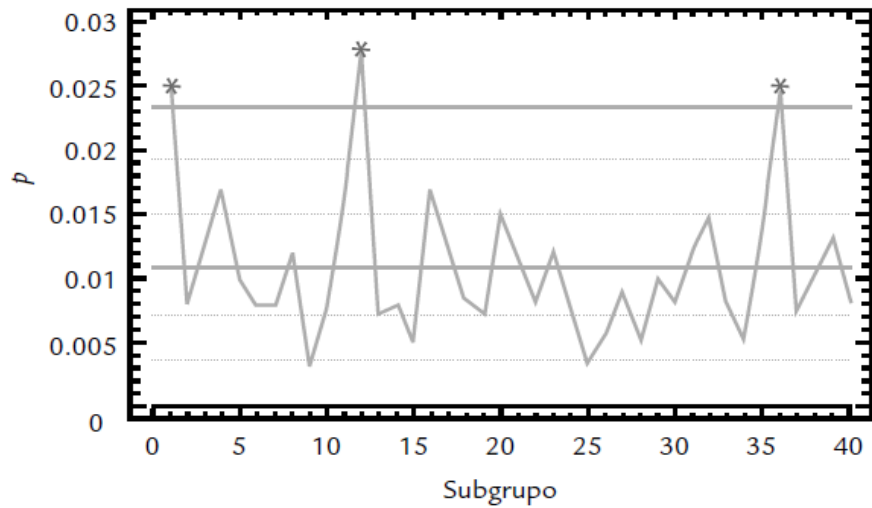


Figura 11. Gráfico de Control p para el proceso de empaquetado de salchichas.

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2004.

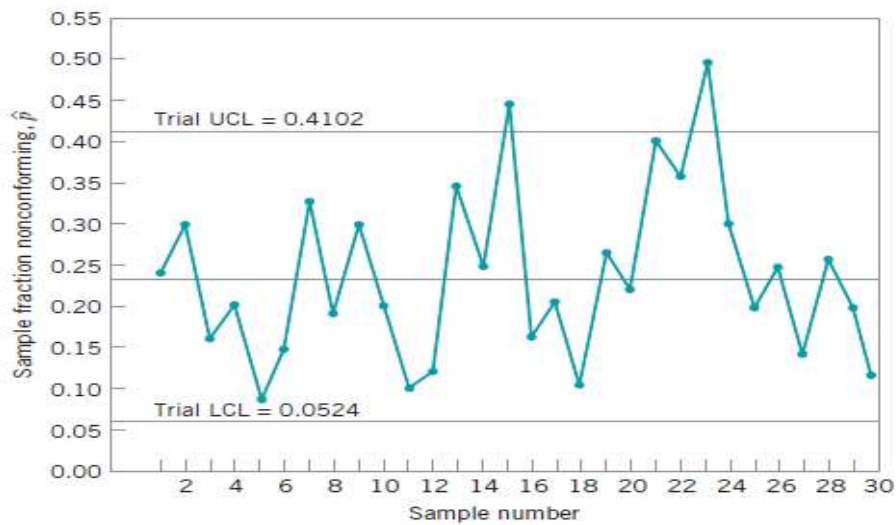


Figura 12. Gráfico de control p para la fracción no conforme de latas de concentrado de jugo de naranja.

Fuente: Montgomery, 2009.

Gráfico np: la gráfica np (números defectuosos en la muestra) sirve para poder controlar el número de productos defectuosos que existen dentro

de un proceso. Resulta útil para graficar las unidades disconformes, el tamaño de la muestra a emplear es constante. Se aplica al mismo tipo de procesos que en gráficos p. La diferencia está en que, en lugar de contabilizar proporción de artículos defectuosos en una muestra, se considera el número de artículos defectuosos (Carro y González 2013). En general, es útil si el número es más relevante que la proporción y el tamaño muestral es constante.

Aunque matemáticamente sería posible construir un gráfico np con tamaño muestral variable, su interpretación sería complicada, por lo que este tipo de gráficos se utiliza exclusivamente con muestras de tamaño constante n. Este tipo de gráficos se suele aplicar en situaciones en las que el proceso es una operación de montaje complicada, y la calidad del producto se mide en términos de la ocurrencia de disconformidades, del funcionamiento exitoso o fallido del producto, etc. Poseen una ventaja principal, mediante la cual hacen posible considerar varias características de calidad al mismo tiempo y clasificar los productos como disconformes si no satisfacen las especificaciones de cualquiera de las características.

Las gráficas de control np se encuentran basadas en el número de elementos que posee una muestra que son juzgados como defectuosos a base de una definición operacional. Su nombre se debe a que el número de elementos defectuosos en la muestra se le asigna la letra (p), mientras que el tamaño de la muestra será (n). Es necesario evaluar al menos 20 o 25 muestras para obtener una buena estimación y contar el número de elementos defectuosos de cada uno. La mejor estimación para P, será \hat{p} , siendo la medida proporcional de elementos disconformes.

El procedimiento Gráfico np crea un gráfico de control para datos que describe el número de veces que ocurre un evento en m muestras tomadas de un producto o proceso. Los datos podrían representar el número de artículos defectuosos en un proceso de manufactura, el número de clientes que regresan un producto, o cualquier otro atributo que pueda ser clasificado como aceptable o inaceptable. Se resaltan las señales de fuera-de-control, incluyendo tanto puntos más allá de los límites de control como cualquier secuencia atípica en los datos. En la Figura 13 se muestra un ejemplo de gráfico np desarrollado en industria de alimentos.

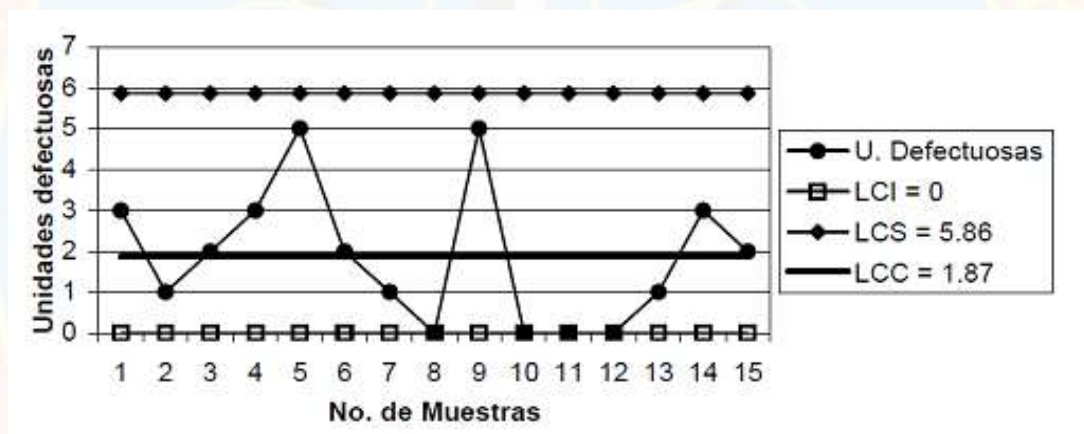


Figura 13. Gráfico np para el número de galletas con chocolate defectuosas.

Fuente: Muñoz, 2004.

C chart: es una gráfica por atributos utilizada para controlar el número de defectos “C” presentes en una unidad de muestreo. Estos gráficos de control se basan en la distribución de Poisson, una de las importantes distribuciones de probabilidad, la cual exige un número de puntos donde potencialmente podría producirse un error infinitamente grande, así como la probabilidad, de que el error aparezca en un determinado punto y sea muy pequeña y constante; la unidad que se utilice para inspeccionar cada punto,

debe ser la misma. El procedimiento gráfico *c* crea un gráfico de control para los datos, que describe el número de no conformidades registradas como el resultado de inspeccionar *m* muestras. A diferencia de los datos graficados usando un gráfico *p* o gráfico *np*, la inspección de un artículo dentro de la muestra no da lugar simplemente a un grado aceptable o inaceptable. En lugar de esto da una cuenta del número total de los defectos o de los problemas observados con ese artículo (Pola 1993).

El gráfico *C* cuenta el número actual de defectos por muestra y se emplea cuando el tamaño de la misma es constante. Uno de sus usos se da en puntos de inspección donde se busca localizar uno o más tipos de defectos relativamente menores, de forma que, aunque se encuentren defectos, el artículo no se rechaza (Gutiérrez y De La Vara 2004). En la industria alimentaria algunos ejemplos de estos defectos son: el número de defectos encontrados en el etiquetado de las latas de atún, número de defectos hallados en los envases del yogurt, entre otros. A continuación, se muestra un ejemplo del gráfico *C* aplicado en la industria de alimentos (Figura 14):

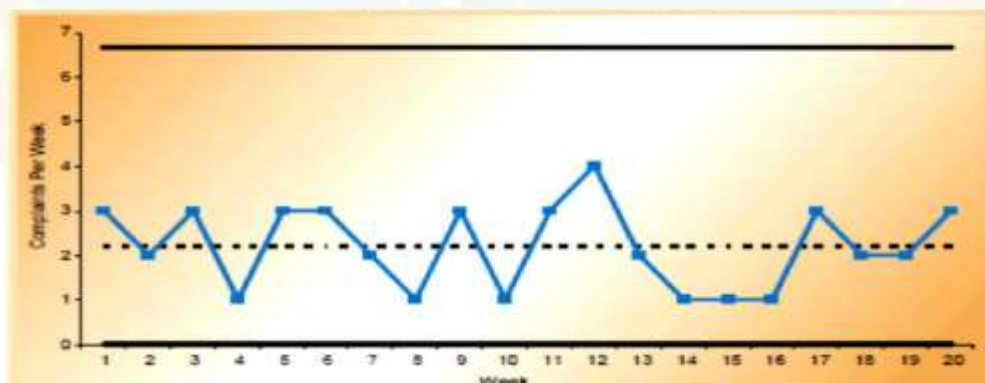


Figura 14. Gráfico C para el número de quejas recibidas en una empresa de alimentos durante veinte semanas.

Fuente: Abo, 2018.

U chart: es una gráfica por atributos, conocida también bajo el nombre de “Gráfico de defectos por unidad”, se utiliza como alternativa del gráfico “*c*” cuando la unidad de muestreo está formada por “*n*” unidades de producción (Hansen y Ghare, 1990). El procedimiento del gráfico *u* crea un cuadro de control para datos que describe el número de desarreglos registrados por unidad como resultado de inspeccionar *m* muestras. Las muestras podrían representar un grupo de *n* objetos, un período de tiempo fijo, metros cuadrados de una facturación o alguna otra unidad de muestreo de un tamaño establecido. A menos que los datos graficados usen un cuadro *p* o un cuadro *np*, la inspección de un objeto dentro de la muestra no resulta solamente en una valoración aceptable o inaceptable. Este gráfico se emplea cuando el tamaño de muestras es variable (Figura 15).

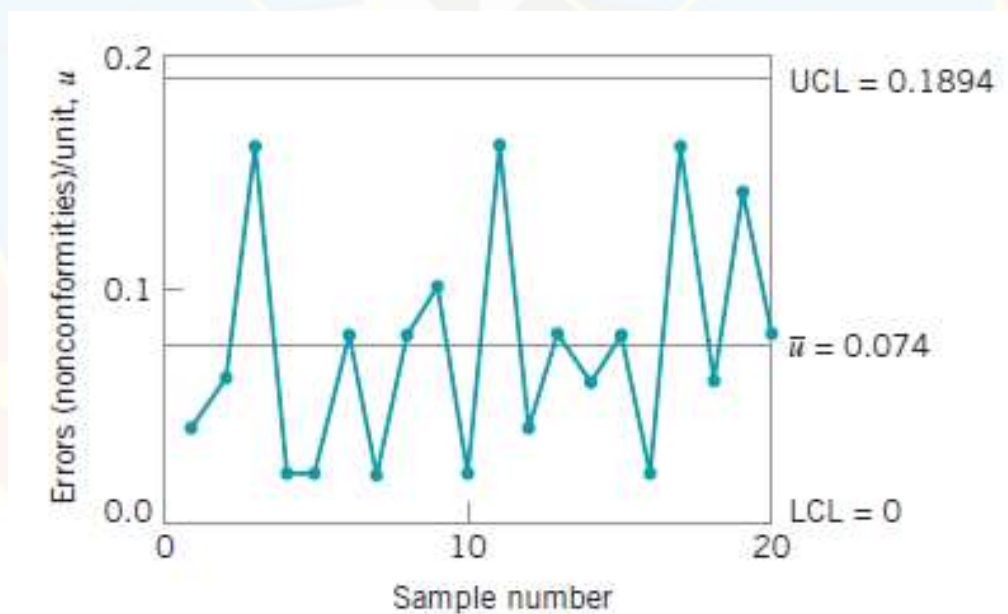


Figura 15. Gráfico U para los errores de envío en la red de la cadena de suministro.

Fuente: Montgomery, 2009.

OTROS TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL

De acuerdo con la clasificación de Huerga y Abad (2000) existen otros tipos de gráficos de control CUSUM y EWMA. Aunado a esto, Ángeles (2019) indica que hay gráficos de control para casos especiales como: ANOM (análisis de medias), límites fijados, promedio móvil, pre-control, CUSUM y EWMA. Gutiérrez y De La Vara (2009) señalan que estos gráficos pretenden mejorar el desempeño de los gráficos tradicionales en el sentido de detectar más rápido un cambio en el proceso, reducir la frecuencia de falsas alarmas (cuando hay una señal de fuera de control, pero el proceso está en control) y modelar mejor el comportamiento de los datos. Entre las cartas adicionales más conocidas se encuentran la CUSUM y EWMA.

CUSUM: este gráfico fue propuesto por Page (1954) y el nombre de CUSUM se debe a que es una carta en la cual se grafica la suma acumulada de las desviaciones con respecto a la media global (si el proceso está centrado, se podrían considerar las desviaciones con respecto al valor nominal de la característica de interés) (Gutiérrez y De La Vara, 2009). Es la suma acumulada utilizada para detectar pequeños cambios en un proceso. Este gráfico cuyo nombre deriva de sus siglas en inglés (cumulative sum) o en castellano (diagrama de control de suma acumulativa), es un gráfico que se utiliza para controlar la media de un proceso en un valor nominal y para ello existe una sucesión de muestras de tamaño “n” (Ishikawa 1989).

Este gráfico tiene la ventaja de ser más sensible a las variaciones en la media del proceso y para que éste se pueda aplicar se requiere que la desviación típica del proceso sea muy estable y se disponga de una buena estimación de ella. Se conoce como una alternativa al gráfico de Shewhart, incorpora directamente toda la información representando las sumas

acumuladas de las desviaciones de los valores muestrales respecto a un valor objetivo (Ishikawa 1989). También existen gráficas CUSUM destinadas a controlar la variabilidad del proceso, las cuales también suponen normalidad. Los gráficos de sumas acumulativas monitorean datos por variables graficando las sumas acumulativas de las desviaciones al valor objetivo. En la Figura 16 se aprecia el gráfico CUSUM para el peso de los paquetes de harina donde se observa una señal de cambio de nivel con la máscara colocada en el punto 17 en adelante. Además de que algunos puntos caen afuera de los brazos de la máscara, se observa una tendencia ascendente muy marcada a partir del punto 15, lo cual ayuda a identificar la causa especial del cambio.

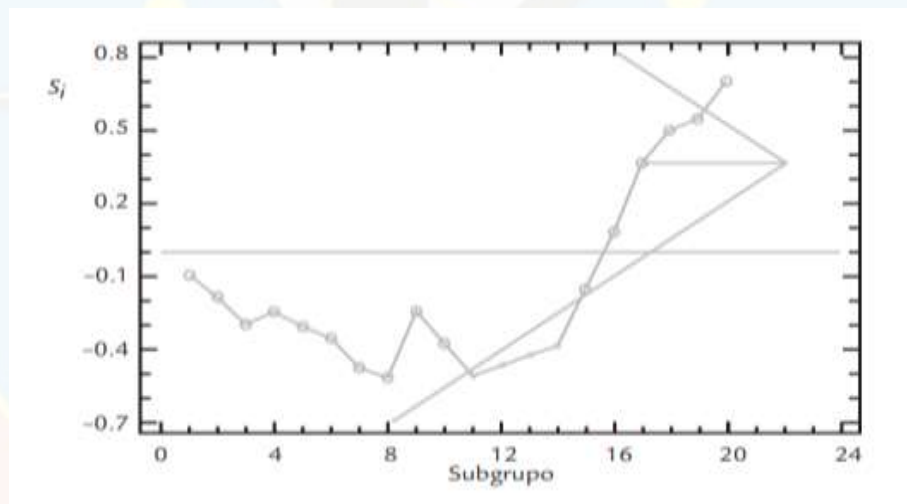


Figura 16. Gráfico CUSUM con máscara para el peso de los paquetes de harina.

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

EWMA: carta en la que se grafica la suma ponderada de las medias de los subgrupos observados hasta el tiempo de inspección, que asigna pesos decrecientes a las medias anteriores (Gutiérrez y De La Vara 2004). Se usa cuando se tiene una muestra y se quiere detectar pequeños cambios en un

proceso. Estas gráficas con memoria, derivan de su nombre en inglés (Exponentially Weighted Moving Average), la cual se utiliza principalmente para observaciones individuales, y parten de la idea de darle un mayor peso a las observaciones más recientes con el propósito de hacerlo más sensible frente a cambios en el proceso (Roldan 2017).

La versión más importante de las gráficas EWMA, es la que se utiliza para controlar la media del proceso en un valor especificado, la cual se usa como estadístico de control definido como el promedio ponderado entre la última observación y el valor anterior de ese mismo estadístico. Es uno de los procedimientos alternativos más apropiados para detectar pequeños ajustes con más rapidez. Sin embargo, es menos apropiado para detectar desajustes grandes, por lo que EWMA es uno de los procedimientos que son complementarios, y no sustitutivos (Gras 2010). En la Figura 17 se muestra un ejemplo de gráfica de control EWMA.

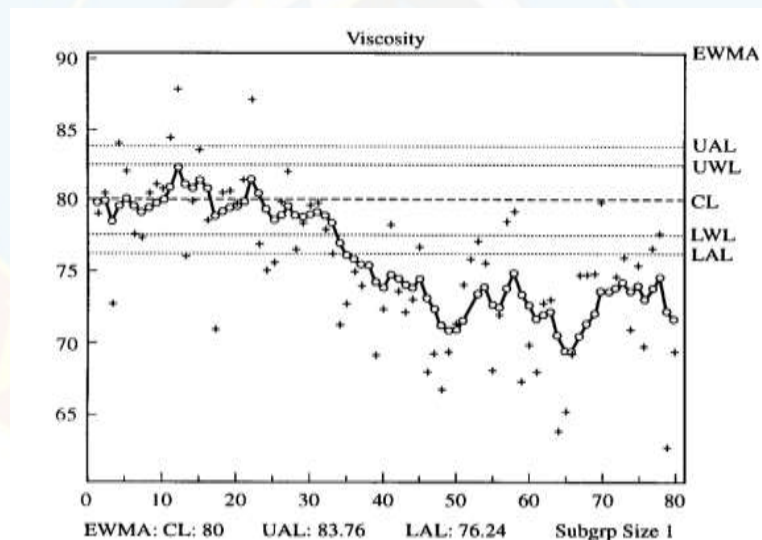


Figura 17: Gráfico EWMA para la viscosidad de un producto.
Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

Es importante destacar que en el presente trabajo documental solo se detallará información relacionada con los gráficos de control tradicionales por variables y atributos mencionados anteriormente.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DIFERENTES GRÁFICOS DE CONTROL

Brando (2017) acota que el procedimiento para hacer un gráfico de control es:

- Seleccionar la característica objeto de análisis en el gráfico de control.
- Seleccionar el tipo apropiado de gráfico de control.
- Decidir el subgrupo (una pequeña recopilación de artículos, en el marco de los cuales las variaciones se deben probable y únicamente al azar), sus dimensiones, y la frecuencia de muestreo del subgrupo.
- Recolectar y registrar datos sobre 20 o 25 subgrupos por lo menos, o utilizar datos registrados previamente.
- Calcular estadísticamente las características de cada muestra del subgrupo.
- Calcular los límites de control sobre la base de las estadísticas de las muestras de subgrupos.
- Construir un gráfico y plotear las estadísticas del subgrupo.
- Examinar el ploteo por si hay puntos fuera de los límites de control y patrones que indiquen la presencia de causas asignables o especiales.
- Decidir las acciones a tomar en el futuro.

Según, Pérez (2010), es frecuente que para la construcción de los gráficos de control se deba asumir alguna distribución paramétrica para formar el comportamiento de las causas fortuitas, la cual suele llamarse “distribución subyacente”. Sin embargo, para Cabello (2013), es importante elegir de forma correcta el gráfico de control a construir, además de conocer el tipo de variable que se estudia, la forma en la cual se recogen los datos para su análisis posterior y el estándar de calidad que se pretende conseguir. Por otra parte, Vera (2016), afirma que para la construcción de un gráfico de control se deben diversificar las siguientes etapas:

- **Etapas de aprendizaje**

En esta etapa se logran los resultados iniciales con la muestra de control.

- **Etapas de control**

En esta fase se representan los diversos resultados de la muestra de control frente al tiempo, con el objetivo de detectar tendencias y situaciones fuera de control. Aunado a esto, Naranjo (2016) afirma que los gráficos de control son herramientas estadísticas muy simples de construir y de utilizar y muy útiles para controlar tendencias y la estabilidad de un proceso analítico.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLE

Para los gráficos de control por variable, el proceso se realiza mediante variables susceptibles de ser medidas (cantidades, pesos, diámetros,

espesores, frecuencias, etc). En ellos se controla la tendencia central del proceso, midiendo la media muestral, \bar{X} y la dispersión de la característica a controlar a lo largo del tiempo mediante el recorrido, R y la varianza, σ para controlar la variabilidad. A continuación, se muestran los pasos para la construcción de los gráficos de control por variable \bar{X} - R (modificado de FUNDOBEQ 2002):

✓ **Gráficos \bar{X} - R :**

Paso 1: Recolectar los datos.

Seleccionar las variables a considerar y el plan de muestreo adecuado tomando en cuenta el tamaño de la muestra, frecuencia de muestreo y número de subgrupos. La elección se basa en el propósito de reducir o impedir los rechazos, los costos, el desperdicio, el reproceso, etc.

- Elegir algo que pueda ser medido y expresado en números: dimensiones, dureza, fragilidad, resistencia, peso, etc.
- Elección del tamaño y la frecuencia de la obtención de los datos representativos.
- Los datos son el resultado de la medición de las características del producto, los cuales deben ser registrados y agrupados de la siguiente manera:

Se toma una muestra (subgrupo) de 4 a 5 piezas consecutivas (Shewhart sugiere 4), sin embargo, es muy común utilizar 5 y se anotan los resultados de la medición. Durante un estudio inicial, los subgrupos pueden ser tomados consecutivamente o a intervalos cortos para detectar si el

proceso puede cambiar o mostrar inconsistencia en breves periodos de tiempo. Algunos recomiendan que el intervalo sea de ½ a 2 horas., ya que más frecuentemente puede representar demasiado tiempo invertido y, si es menos frecuente, pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales.

- Elección de cuántos subgrupos tomar: mientras menor sea el número de subgrupos que se tomen, más pronto se obtendrá una idea para actuar, pero menor será la seguridad de que esta base sea confiable. Es conveniente tener al menos 25 subgrupos; la experiencia indica que las primeras muestras pueden no ser representativas de lo que se mide posteriormente.

Paso 2: Calcular el promedio \bar{X} y el rango R_i para cada subgrupo:

Cálculo del promedio

$$\bar{X}_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Cálculo del rango

$$R_i = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$$

Donde:

\bar{X}_n = promedio de un subgrupo
 X_i = Valor de la variable medida
 n = tamaño de la muestra
 R_i = rango de un subgrupo
 $V_{\text{máx}}$ = valor máximo
 $V_{\text{mín}}$ = valor mínimo

Paso 3: Calcular el promedio de rangos \bar{R} y el promedio de promedios $\bar{\bar{X}}$. Cálculo del promedio de promedios

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_n}{k}$$

Cálculo del rango

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{k}$$

Donde k es el número de subgrupos, $\bar{\bar{X}}$ el promedio de promedios y \bar{R} es el Promedio de los rangos muestrales, \bar{X}_n el promedio de cada subgrupo y R_i es el rango de cada subgrupo.

Paso 4: Calcular los límites de control para el gráfico X y el gráfico R

Los límites de control son calculados para determinar la variación de cada subgrupo, están basados en el tamaño de los subgrupos y se calculan de la siguiente forma:

Límites de Control para el gráfico X

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

$$\bar{\bar{X}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

Límites de Control para el gráfico R

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R}$$

\bar{R} Ecuación 7

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

Donde:

UCL_x : Límite de control superior para el gráfico X

$\bar{\bar{X}}$: promedio de promedios; límite o línea central

LCL_x : Límite de control inferior para el gráfico X

UCL_R : Límite de control superior para el gráfico R

\bar{R} : Promedio de los rangos muestrales; límite o línea central

LCL_R : Límite de control inferior para el gráfico R

A_2 , D_4 y D_3 : Constantes que dependen del tamaño de la muestra. Los valores de A_2 , D_3 , D_4 se encuentran en el siguiente Cuadro 1.

Las fórmulas abreviadas para los límites de control sobre los rangos muestrales son:

D_4R : Límite de control superior

D_3R : Límite de control inferior

Donde D_3 , D_4 son constantes que varían según el tamaño de la muestra. Los valores de A_2 , D_3 , D_4 se encuentran en el siguiente Cuadro 1

Cuadro 1. Constantes para gráficos de control.

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

Fuente: Hernández, 2008.

Paso 5: Trazar la gráfica de control X y R.

Una gráfica de control X-R presenta dos gráficos en una hoja, la gráfica superior es la de las medias X y la gráfica inferior es la de rangos R. En el eje de las “x” se representa el número de subgrupos (se anotan los números cardinales que representan las muestras sucesivas). En el eje de las “y” se

representan los valores de las medias o rangos según corresponda a la gráfica que se esté trazando.

La gráfica de medias \bar{X} consiste en tres líneas de guía: Límite de control inferior $LCL_{\bar{X}}$, línea central $CL_{\bar{X}}$ y límite de control superior $UCL_{\bar{X}}$. La línea central es el promedio de promedios y los dos límites de control son fijados más o menos a tres desviaciones estándar. Cada subgrupo se identifica en la gráfica como un punto, un círculo o una cruz según se establezca, cada punto corresponde a un valor. FUNDIBEQ 2002 expone que en esta gráfica se representará cada muestra con un punto buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su media (eje vertical).

La gráfica de Rangos R consiste en tres líneas de guía: Límite de control inferior LCL_R , línea central CL_R y límite de control superior UCL_R . La línea central es el promedio de los rangos y los dos límites de control son fijados más o menos a tres desviaciones estándar. Cada subgrupo se identifica en la gráfica como un punto, un círculo o una cruz según se establezca, cada punto corresponde a un valor R_i (Kume 2002).

Paso 1: Se recolectaron datos del volumen neto de 5 envases de leche UHT completa a intervalos de 30 minutos haciendo un total de 25 subgrupos y un total de datos de 125 envases en una empresa de productos lácteos. Los datos se muestran en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Datos para construcción de gráfica de control para promedios y rangos.

Nº de Muestra	Volumen neto (mL)					Promedio	Rango
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅		
1	976,29	994,46	976,87	991,84	977,16	983,32	18,17
2	990,48	976,48	993,39	975,90	991,06	985,46	17,49
3	975,90	990,57	976,00	991,35	990,57	984,88	15,45
4	990,38	975,32	975,32	992,32	991,84	985,03	17,01
5	975,41	989,70	994,27	975,61	977,07	982,41	18,85
6	980,08	995,63	979,69	995,53	978,81	985,95	16,81
7	979,20	995,04	979,59	995,04	978,91	985,56	16,13
8	995,82	994,36	979,98	977,07	996,31	988,71	19,24
9	994,75	979,98	995,14	980,47	997,08	989,48	17,10
10	993,78	996,21	977,07	978,33	997,18	988,51	20,12
11	977,38	991,84	976,89	993,88	975,73	983,15	18,16
12	977,18	991,84	977,77	993,50	975,83	983,22	17,67
13	991,17	977,57	994,56	977,09	991,55	986,39	17,48
14	977,38	991,55	978,35	991,65	976,60	983,11	15,05
15	991,84	977,38	993,20	976,70	993,40	986,50	16,70
16	997,28	983,40	997,18	981,94	997,77	991,51	15,83
17	981,84	996,02	980,68	995,44	981,46	987,09	15,34
18	983,50	996,12	982,52	996,99	982,72	988,37	14,47
19	996,12	981,17	992,52	980,97	994,76	989,11	15,15
20	995,73	981,55	995,92	981,65	995,44	990,06	14,37
21	996,12	992,52	979,13	979,81	995,92	988,70	16,99
22	979,03	996,60	979,03	993,59	980,39	985,73	17,57
23	993,40	978,06	995,44	978,06	996,02	988,19	17,96
24	979,51	993,59	979,90	996,21	980,10	985,86	16,70
25	994,66	978,54	995,83	979,13	993,59	988,35	17,28

Fuente: Zamora, 2012

Pasos 2, 3 y 4:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} = 986,59 \qquad \bar{R} = \frac{\sum R_i}{k} = 16,92$$

UCL_x=996,35

UCL_R= 35,78

LCL_x=976,83

LCL_R=0

Paso 5: trazar el gráfico de control de promedios y rangos (Figura 18)

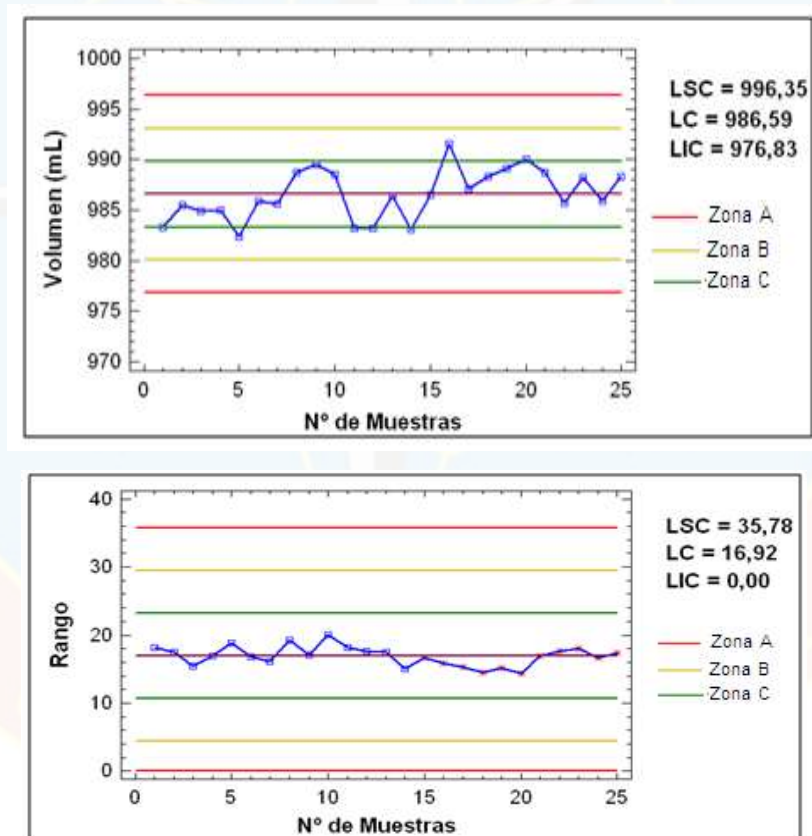


Figura 18. Gráfico de promedios (\bar{X}) y Gráfico de rangos (R) para el volumen neto (mL) en 25 muestras de leche completa esterilizada UHT, periodo junio – julio del 2010.

Fuente: Zamora, 2012

Interpretación del gráfico X-R (Figura 18):

De acuerdo con lo señalado por Zamora (2012), en estos gráficos se puede decir que de los 25 puntos mostrados en el gráfico de promedio (X), todos se encuentran dentro de los límites de control tanto superior (LSC) como inferior (LIC) sin observarse un comportamiento no aleatorio. Por otra parte, en el gráfico de rangos (R) no se encuentran ningún punto fuera de los límites de control. Sin embargo, se observa un comportamiento no aleatorio de quince puntos consecutivos o una tendencia de puntos a agruparse artificialmente alrededor del límite central según lo señalado en Montgomery (2007). Por otro lado, Sosa (2003) afirma que, aunque parezca normal porque todos los puntos están dentro de las líneas de control, el hecho de que siete o más puntos aparezcan cerca de la línea central, se considera una anomalía, es decir, el proceso está fuera de control porque lo normal y esperado es que los puntos vayan variando aleatoriamente en todo el ancho de los límites de control. Debido a esta afirmación se puede declarar que el proceso de envasado aséptico de leche completa esterilizada UHT, se encuentra fuera de control estadístico con un nivel de confianza del 95%, lo que indica diferencias en el volumen neto de las leches envasadas.

✓ Gráficos X-S:

El procedimiento para realizar las gráficas de control X-s es similar al de las gráficas de X-R. La diferencia consiste en que el tamaño de la muestra puede variar y es mucho más sensible para detectar cambios en la media o en la variabilidad del proceso. La gráfica monitorea el promedio del proceso para vigilar tendencias y la gráfica S determina la variación en forma de desviación estándar (Gras 2010).

Paso 1: Colectar los datos

En este paso se siguen las mismas consideraciones que en la construcción de los gráficos X-R, solo que aquí el tamaño de muestra n es recomendable que sea mayor a 9.

Paso 2: Calcular el promedio y la desviación estándar (Si) para cada subgrupo

Cálculo del promedio

$$\bar{X}_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Cálculo de la desviación estándar

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

Donde:

\bar{X}_n = promedio de un subgrupo

X_i = Valor de la variable medida

n = tamaño de la muestra

S_i = desviación estándar de un subgrupo

$\bar{\bar{X}}$ el promedio de promedios

Paso 3: Calcular la desviación estándar promedio y el promedio de promedios.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_n}{k}$$

$$\bar{S} = \frac{S_1 + \dots + S_n}{K}$$

Donde:

$\bar{\bar{X}}$: promedio de promedios

\bar{X}_n el promedio de cada subgrupo

k es el número de subgrupos

\bar{S} : desviación estándar promedio

S_1 =desviación estándar del primer subgrupo

S_n =desviación estándar del último subgrupo

Paso 4: Calcular los límites de control para el gráfico X y el gráfico S

Límites de Control para el gráfico X

$$UCL_X = \bar{\bar{X}} + A_3 \cdot \bar{S}$$

$\bar{\bar{X}}$ Ecuación 6

$$LCL_X = \bar{\bar{X}} - A_3 \cdot \bar{S}$$

Límites de Control para el gráfico S

$$UCL_R = B_4 \cdot \bar{S}$$

\bar{S} Ecuación 7

$$LCL_R = B_3 \cdot \bar{S}$$

Donde:

UCL_X : Límite de control superior para el gráfico X

$\bar{\bar{X}}$: promedio de promedios; límite o línea central

LCL_X : Límite de control inferior para el gráfico X

UCL_S : Límite de control superior para el gráfico S

\bar{S} : Promedio de desviación estándar muestral; límite o línea central

LCL_S : Límite de control inferior para el gráfico R

A_3 , B_4 y B_3 : Constantes que dependen del tamaño de la muestra. Los valores de A_3 , B_4 y B_3 se encuentran en el siguiente Cuadro 1.

Paso 5: Trazar la gráfica de control X y S

Una gráfica de control X-S presenta dos gráficos en una hoja, la gráfica superior es la de las medias y la gráfica inferior es la de las desviaciones estándar. En el eje de las "x" se representa el número de subgrupos (se anotan los números cardinales que representan las muestras sucesivas). En el eje de las "y" se representan los valores de las medias o desviaciones estándar según corresponda a la gráfica que se esté trazando. FUNDIBEQ (2002) señala que para la construcción del gráfico de control X-S se procede con lo siguiente:

- Se dibujarán dos Gráficos en la misma hoja, uno para representar la medida de tendencia central (X) y otro para representar la medida de variabilidad o dispersión (s).
- El eje horizontal representa, en ambos gráficos, el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.
- El eje vertical del Gráfico " X " representa los valores de la media. La diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la escala será por lo menos dos veces la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de X.
- El eje vertical del Gráfico "s" representa los valores de la desviación. Los valores de su escala irán desde cero hasta dos veces el valor máximo de "s".

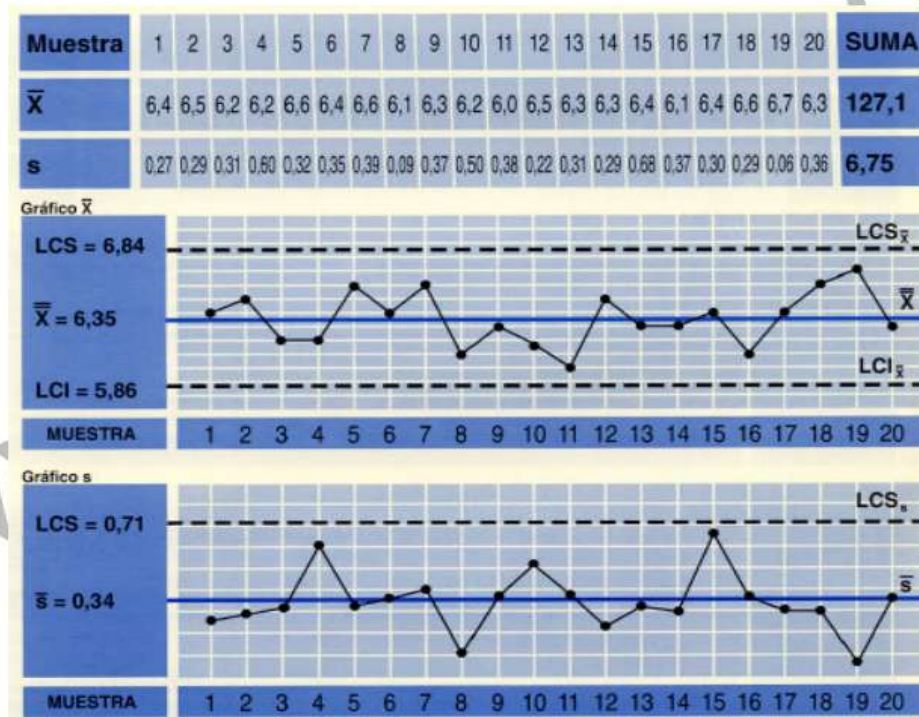


Figura 19. Representación de gráficos de control X y S.
Fuente: FUNDIBEQ 2002.

Para el gráfico " X "

- Línea Central. Marcar en el eje vertical, correspondiente a las X, el valor de la media de las medias X. A partir de este punto trazar una recta horizontal. Identificarla con X.
- Límite de Control Superior. Marcar en el eje vertical correspondiente a las X, el valor de x LCS. A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con xLCS.
- Límite de Control Inferior. Marcar en el eje vertical correspondiente a las X, el valor de xLCI. A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con xLCI.

Para el Gráfico de control "s"

- Límite Central. Marcar en el eje vertical, correspondiente a las s , el valor de la desviación típica media S . A partir de este punto trazar una recta horizontal. Identificarla con S .
- Límite de Control Superior. Marcar en el eje vertical correspondiente a las S , el valor de LCSs. A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con LCSs.
- Límite de Control Inferior. Marcar en el eje vertical correspondiente a las S , el valor de LCIs. A partir de este punto trazar una recta horizontal discontinua (a trazos). Identificarla con LCIs.

Nota: Usualmente las líneas que representan los valores centrales X y s se dibujan de color azul y las líneas correspondientes a los límites de control de color rojo. Cuando LCI es cero, no se suele representar en el gráfico.

Interpretación del gráfico X-S (Figura 19): la interpretación de estos gráficos X-S es similar a X-R, ya que estos primeros estudian el comportamiento de la media en X y de la variabilidad con S .

GRÁFICO DE CONTROL DE LECTURAS INDIVIDUALES Y RANGO MÓVIL (I-RM)

Los pasos para la construcción de estos gráficos son muy similares a los gráficos X-R y X-S, resaltando que solo varían en las ecuaciones utilizadas para calcular sus límites. A continuación, un ejemplo de lecturas individuales y rango móvil:

En la producción de tequila para medir la eficacia del proceso de molienda se mide el grado °Brix residual después de la molienda (cantidad de azúcar que queda en el bagazo del agave). Esta es una variable del tipo entre más pequeña mejor, y el valor máximo tolerado que se ha fijado en una empresa particular es ES=3.5%. Después de moler cada lote se determina el grado Brix residual, por lo que se considera un proceso lento que es más apropiado analizar con una carta de individuales. En el Cuadro 3 se muestran los datos para los últimos 40 lotes molidos y se agregó la columna para el rango móvil de orden 2, que se obtiene del rango entre los dos datos consecutivos más recientes. La media y el rango medio de los datos son 1,95 y 0,43; respectivamente. De aquí que los límites de control preliminares para el Brix son:

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= \bar{\bar{X}} + 3 \left(\frac{\bar{R}}{1,128} \right) \\ \text{LIC} &= \bar{\bar{X}} \\ \text{LCI} &= \bar{\bar{X}} - 3 \left(\frac{\bar{R}}{1,128} \right) \end{aligned}$$

La gráfica de control correspondiente se muestra en la Figura 20, en donde se observa que no hay tendencias ni ningún otro patrón especial, salvo un punto fuera del LCS correspondiente al lote 15. Por lo tanto, durante la molienda de ese lote ocurrió algo que usualmente no sucede. Al investigar si ocurrió algo especial, se encontró que ahí se detectó un desajuste mayor en el molino. Esta evidencia mostrada en el gráfico ayudó a reforzar la necesidad de tener un mayor cuidado en dicho proceso mediante un monitoreo objetivo con la cara de control, a fin de detectar oportunamente tal tipo de cambios.

Nótese que en el ejemplo el LCS es menor que $ES=3,5$, por lo tanto, si en este proceso se controlara (de maneja errónea) con la especificación superior como LCS, el lote 15 no caería fuera de $ES=3,5$ y no se hubiera detectado ese desajuste en el molino. Lo anterior, aunado a otros cambios y desajustes, que podría ir apareciendo y conduciría a un deterioro importante de la eficacia del proceso y reaccionar demasiado tarde en forma correctiva, en lugar de hacerlo de manera oportuna y en forma preventiva, o cuando se inició el cambio, y no después que lleva horas o días en el proceso. En otras palabras, si se usan los límites de especificaciones se estará incrementando el error 2 por no reaccionar cuando se debió hacerlo. Por el contrario, si el límite de control fuera mayor que la especificación y se reaccionara con base en ésta, entonces cuando un dato estuviera fuera de ES se estaría buscando un hecho especial, cuando en realidad pudo deberse a la variación natural o común del proceso. Con ello, se estaría incrementando el error 1.

Cuadro 3. Datos para construcción de gráfica de control para lecturas individuales y rango móvil.

Lote	Brix residual	Rango móvil	Lote	Brix residual	Rango móvil
1	2.0		21	1.2	0.9
2	2.4	0.4	22	1.8	0.6
3	2.2	0.2	23	2.0	0.2
4	1.4	1.8	24	2.4	0.4
5	2.3	0.9	25	1.9	0.5
6	1.8	0.5	26	2.4	0.5
7	1.5	0.3	27	2.4	0.0
8	1.5	0.0	28	1.7	0.7
9	2.1	0.6	29	1.8	0.1
10	2.0	0.1	30	2.1	0.3
11	1.6	0.4	31	1.7	0.4
12	2.2	0.6	32	2.1	0.4
13	1.9	0.3	33	1.6	0.5
14	2.4	0.5	34	2.4	0.8
15	3.3	0.9	35	2.1	0.3
16	2.1	1.2	36	1.8	0.3
17	2.1	0.0	37	1.3	0.5
18	1.8	0.3	38	1.8	0.5
19	1.6	0.2	39	1.7	0.1
20	2.1	0.5	40	1.6	0.1
				$\bar{\bar{X}} = 1.95$	$\bar{\bar{R}} = 0.43$

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

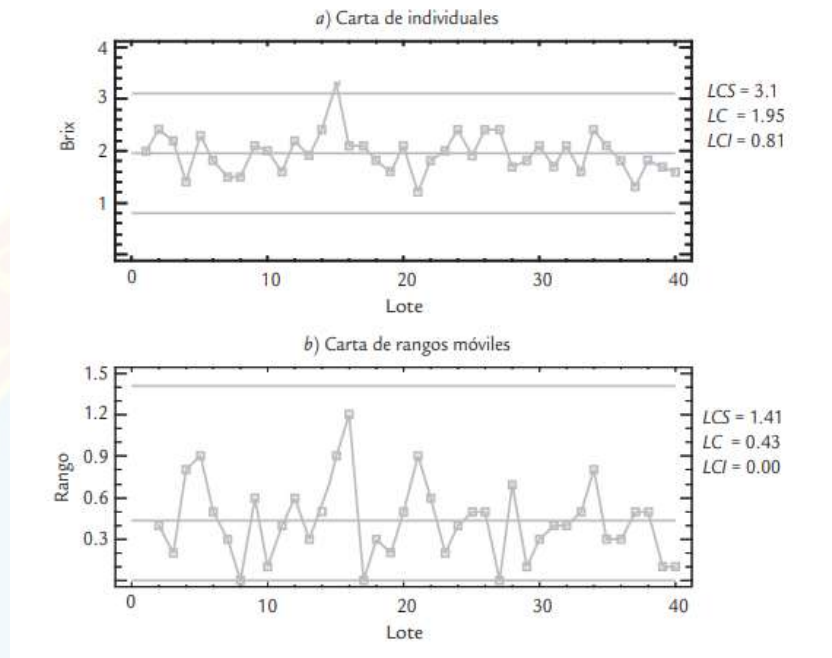


Figura 20. Gráficas de lecturas individuales y rangos móviles para el proceso de producción de tequila.
Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

Quando en un estudio inicial se detectan puntos fuera de los límites de control, se deben investigar las posibles situaciones especiales que provocaron esta situación. Si se identifican y eliminan las causas de los puntos fuera de control, se recomienda recalcular los límites de control.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Gráfico C:

Paso 1: Elegir una cierta cantidad (N) de unidades a supervisar o inspeccionar, por lo general se maneja de 20 a 25 piezas.

Paso 2: Realizar un conteo de cada pieza que se esté supervisando el total de disconformidades y anotarlo en una lista.

Paso 3: Ya con la lista terminada se procede a obtener la media de ese total de disconformidades. Con el resultado de la media se obtiene la desviación y luego se calculan los límites de control para construir el gráfico:

$$\bar{C} = \frac{\sum c}{N}$$

Donde:

\bar{C} : promedio de disconformidades por muestra

c: número de disconformidades

k es el número de subgrupos

Cálculo de límites de control para gráfico C

$$LCS = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$$

$$\bar{C}$$

$$LCI = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$$

Donde:

LCS: límite de control superior

LCI: Límite de control inferior

\bar{C} : límite central o promedio de disconformidades por muestra; límite o línea central

Paso 4: Con la obtención de estos datos se alcanzan lo que son los límites de control para esta gráfica.

Paso 5: Ya por último paso es la elaboración de la gráfica de control C y se comienza por indicar la cantidad de desperfectos, al culminar de elaborar el gráfico se percibe que no existen puntos fuera de lo que son

límites de control, se puede utilizar para tener en control alguna otra producción que se presente luego.

Ejemplo de gráfico de control C:

En el siguiente Cuadro 4 se presenta el número de errores de impresión al examinar 20 folletos de inducción al tema Control Total de Calidad (Carrola 1997).

Cuadro 4. Número de errores de impresión

Folleto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Error	8	5	8	11	7	6	7	12	9	6	4	2	5	9	10	4	3	8	6	7

Fuente: Carrola, 1997.

Primer cálculo para obtener los límites de control:

$$LCS = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}} = 6,85 + 3\sqrt{6,85} = 14,70 \cong 15$$

$$\bar{C} = \frac{\sum C}{N} = \frac{137}{20} = 6,85 \cong 7$$

$$LCI = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}} = 6,85 - 3\sqrt{6,85} = -1,0 = 0$$

Nota: Cuando el LCI es un número negativo, éste debe ser cambiado a cero

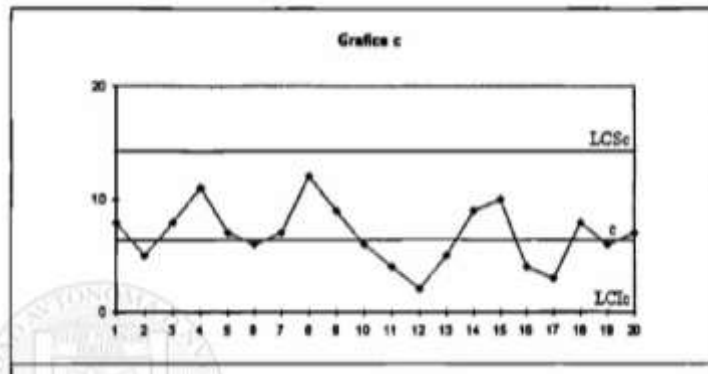


Figura 21. Gráfica del número de errores de impresión
Fuente: Carrola, 1997.

La Figura 21 muestra el gráfico de control c donde aparentemente no se observan puntos fuera de los límites, sin embargo, se puede notar que existen ciclos lo que refleja un comportamiento anormal. De cualquier forma, el proceso es inestable y hay que identificar las causas especiales, tomar medidas preventivas para disminuir la variabilidad.

Gráfico U:

De acuerdo con la información mostrada por FUNDIBEQ (2002), los pasos para la construcción del gráfico U son los siguientes:

Paso 1: al igual que el diagrama C se realiza una recolección de información (datos). Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de la estabilidad del proceso.

Paso 2: calcular el número de disconformidades por unidad "U"

Para cada muestra se registrarán los siguientes datos:

- El número de unidades inspeccionadas “n”
- El número de disconformidades total de la muestra.
- El número de disconformidades promedio por unidad “u”

Paso 3: Calcular los límites de control

- a) Calcular el promedio de las unidades inspeccionadas \bar{n}

$$\bar{n} = \frac{\text{Total unidades inspeccionadas}}{N}$$

Donde N= subgrupo

Calcular el promedio de disconformidades \bar{U} o límite central

$$\bar{U} = \frac{\text{Total disconformidades}}{\text{Total unidades inspeccionadas}}$$

- b) Calcular el límite superior de control LSCU

$$LCS_u = \bar{U} + 3 * \frac{\sqrt{\bar{U}}}{\bar{n}}$$

- c) Calcular el límite inferior de control LICU

$$LCS_u = \bar{U} - 3 * \frac{\sqrt{\bar{U}}}{\bar{n}}$$

Paso 4: Construir el gráfico U.

Ejemplo de construcción del gráfico de control U

Un fabricante de leche en polvo desea establecer un gráfico de control para las no conformidades por unidad en la línea de empackado final. En el siguiente Cuadro 5 se muestran los datos del número de disconformidades en 25 muestras de tamaño variable (Paso 1 y Paso 2).

Cuadro 5. Datos recopilados para las no conformidades por unidad

Muestra número	Piezas verificadas "n"	Núm. Total Disconformidades	Disconformidades/pieza "u"	Muestra número	Piezas verificadas "n"	Núm Tot. Disconformidades	Disconformidades/pieza "u"
1	33	86	2,6	14	30	39	1,3
2	30	72	2,4	15	32	58	1,8
3	31	56	1,8	16	30	81	2,7
4	30	60	2,0	17	30	60	2,0
5	28	45	1,6	18	29	38	1,3
6	27	38	1,4	19	31	43	1,4
7	32	64	2,0	20	28	62	2,2
8	30	48	1,6	21	33	49	1,5
9	33	80	2,4	22	27	49	1,8
10	30	75	2,5	23	30	69	2,3
11	28	42	1,5	24	29	78	2,7
12	34	78	2,3	25	30	60	2,0
13	29	58	2,0	TOTAL	754	1.488	49,1

Fuente: Modificado de FUNDIBEQ, 2002.

Paso 3:

$$\bar{n} = \frac{\text{Total unidades inspeccionadas}}{N} = \frac{754}{25} = 30,2$$

$$\bar{U} = \frac{\text{Total disconformidades por unidad}}{\text{Total unidades inspeccionadas}} = \frac{49,1}{25} = 1,96 \cong 2,0$$

$$LCS_u = \bar{U} + 3 * \frac{\sqrt{\bar{U}}}{\bar{n}} = 2,0 + 3 * \frac{\sqrt{2,0}}{30,2} = 2,8$$

$$LCI_u = \bar{U} - 3 * \frac{\sqrt{\bar{U}}}{\bar{n}} = 2,0 - 3 * \frac{\sqrt{2,0}}{30,2} = 1,2$$

Nota: Cuando el LCI es un número negativo, éste debe ser cambiado a cero

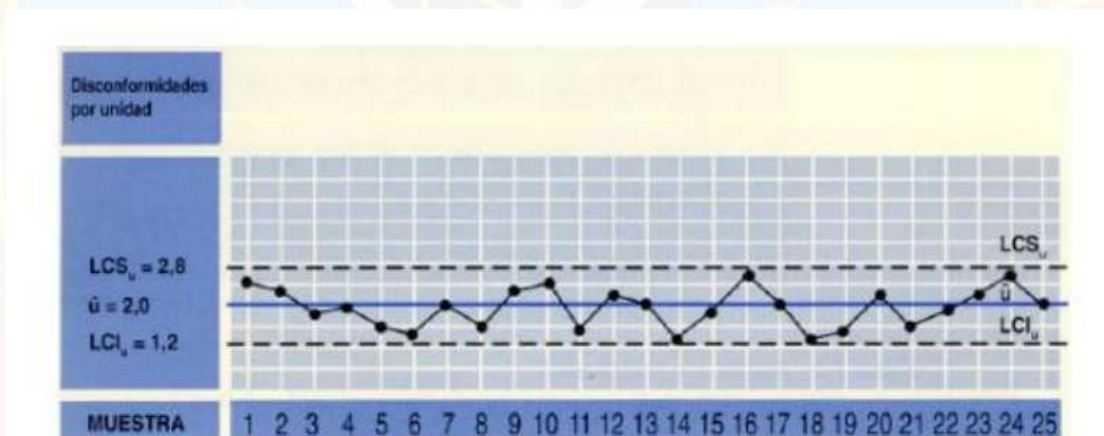


Figura 22. Gráfica de no conformidades o defectos por unidad (U)
Fuente: FUNDIBEQ, 2002.

En virtud de que no existen puntos fuera de control, se concluye que el proceso parece estar estable.

- ✓ **P chart:** analiza la proporción de artículos que no cumplen con las especificaciones en un lote producido, entonces se considera que el mismo resulta defectuoso.

Esta se calcula dividiendo el número de productos defectuosos, entre el tamaño de la muestra y luego se realiza el cálculo de los límites de control mediante las siguientes fórmulas:

$$LCS = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

$$\bar{p} = \frac{\text{total de artículos disconformes}}{\text{total unidades inspeccionadas}}$$

$$LCI = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

Donde:

LCS: límite de control superior

LCI: Límite de control inferior

\bar{p} : promedio de artículos disconformes por unidad inspeccionada o fracción defectuosa, es el límite central del gráfico

\bar{n} = promedio del número de unidades inspeccionadas

En este tipo de gráficas, si el valor del LCI (Límite de Control Inferior) es negativo se le considera como cero, debido a que no pueden existir fracciones negativas de un defecto.

Ejemplo de gráficos de control p:

En una empresa de alimentos, mediante ciertas máquinas se empaican salchichas en sobres o paquetes. La forma de evaluar si el subgrupo de empaclado se realizó de manera adecuada, es haciendo una inspección visual de los paquetes para determinar que se satisfagan diferentes atributos de calidad, por ejemplo: que la cantidad de salchichas dentro del sobre sea

la correcta o que dentro del sobre no quede aire (empaque al vacío). Se han tenido problemas con este último atributo. Los datos obtenidos durante 40 días en una máquina se muestran a continuación (Cuadro 6):

Cuadro 6. Datos recopilados para el proceso de empaqueo de salchichas

Subgrupo	Paquetes, n_i	Paquetes con aire, d_i	Proporción, p_i	Subgrupo	Paquetes, n_i	Paquetes con aire, d_i	Proporción p_i
1	595	15	0.025	15	595	3	0.005
2	593	5	0.008	16	597	10	0.017
3	607	8	0.013	17	599	7	0.012
4	596	10	0.017	18	596	5	0.008
5	602	6	0.010	19	607	4	0.007
6	599	5	0.008	20	601	9	0.015
7	600	5	0.008	21	594	7	0.012
8	590	7	0.012	22	606	5	0.008
9	599	2	0.003	23	601	7	0.012
10	601	4	0.007	24	598	4	0.007
11	598	9	0.015	25	599	2	0.003
12	600	17	0.028	26	590	3	0.005
13	597	4	0.007	27	588	5	0.009
14	594	5	0.008	28	597	3	0.005

TABLA 8.1 Datos para el proceso de empaquetado de salchichas (continuación)

Subgrupo	Paquetes, n_i	Paquetes con aire, d_i	Proporción p_i	Subgrupo	Paquetes, n_i	Paquetes con aire, d_i	Proporción p_i
29	604	6	0.010	35	607	8	0.013
30	605	5	0.008	36	596	15	0.025
31	597	7	0.012	37	598	4	0.007
32	603	9	0.015	38	600	6	0.010
33	596	5	0.008	39	608	8	0.013
34	597	3	0.005	40	592	5	0.008

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

Cálculo para obtener los límites de control para gráficos de control

p

$$\bar{p} = \frac{\text{total de artículos disconformes}}{\text{total inspeccionados}} = \frac{257}{23942} = 0,0107$$

$$\bar{n} = \frac{\text{Total unidades inspeccionadas}}{\text{total de subgrupos}} = \frac{23942}{40} = 598,55 \cong 599$$

$$LCS = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0,0107 + 3\sqrt{\frac{0,0107(1-0,0107)}{599}} = 0,023$$

$$LCS = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0,0107 - 3\sqrt{\frac{0,0107(1-0,0107)}{599}} = -0,0019 \cong 0$$

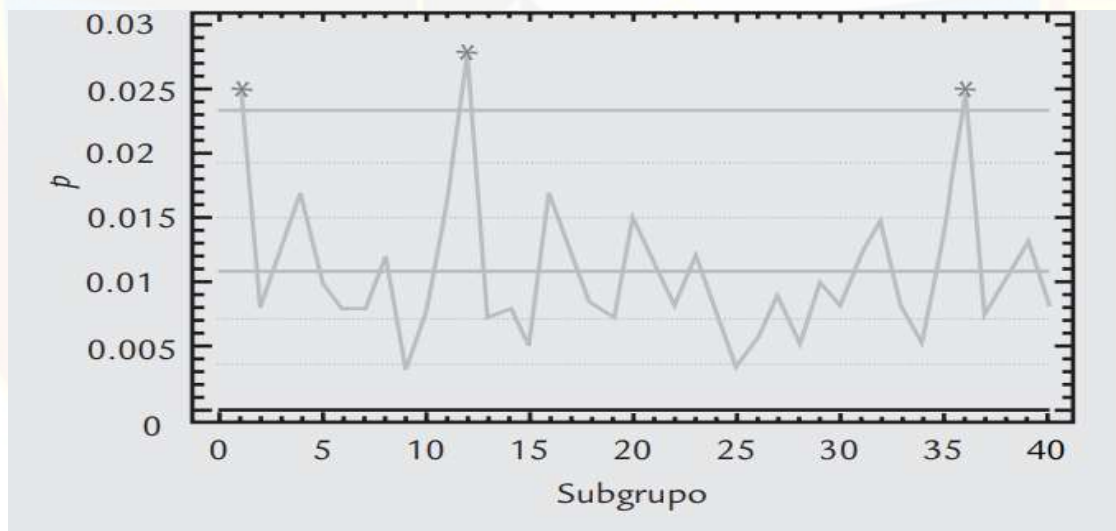


Figura 23. Gráfica p para la proporción de paquetes defectuosos con puntos fuera de control.

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2009.

De los resultados del gráfico p se puede interpretar que durante el empaquetado de esos subgrupos el proceso funcionó en presencia de causas o situaciones especiales que por lo general no están presentes en el proceso y que causaron que la proporción de defectuosos fuera anormalmente grande. Además de lo ya considerado, no hay ningún otro patrón no aleatorio en la carta (Gutiérrez y De La Vara 2009).

- ✓ **Gráfico np:** su construcción se realiza prácticamente igual a la gráfica p, la diferencia consiste en que en la gráfica np se utilizan muestras de tamaño constante y su valor central es el número de artículos defectuosos. Principalmente se crea el gráfico np, siguiendo 4 pasos básicos.
 - Tomar los datos y evaluarlos directamente en la aplicación Excel, creando las columnas necesarias
 - Calcular la proporción de elementos defectuosos. Es importante destacar que los gráficos np se utilizan cuando el tamaño de las muestras es el mismo cada vez que se toman, es decir, “n” será una constante.
 - Seleccionar las fórmulas a utilizar
 - Crear el gráfico mediante la aplicación Excel.

Para poder calcular los límites de control se utiliza la siguiente fórmula:

$$LCS = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})} \quad (29)$$

$$\bar{np} = \frac{\text{total de artículos defectuosos}}{\text{total de subgrupo}} \quad (30)$$

$$LCI = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})} \quad (31)$$

Donde:

LCS: límite de control superior

LCI: límite de control inferior

np =número de artículos defectuosos

\bar{np} =promedio de artículos defectuosos

\bar{p} =fracción defectuosa

Ejemplo: Se considera realizar un muestreo de componentes defectuosos, con un tamaño uniforme de 120 unidades. Después de 20 días se han obtenido los siguientes datos (Cuadro 7):

Cuadro 7. Datos recopilados para componentes defectuosos por muestra

Muestra	Componentes defectuosos	Muestra	Componentes defectuosos
1	9	11	10
2	6	12	20
3	10	13	12
4	8	14	10
5	5	15	10
6	5	16	0
7	14	17	13
8	12	18	5
9	9	19	6
10	8	20	11
			Suma total 183

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2013

1. Calcular la proporción promedio de unidades disconformes \bar{np}

$$\bar{p} = \frac{\text{Total unidades disconformes}}{\text{Total unidades inspeccionadas}} = \frac{183}{120 \times 20} = 0,076$$

2. Calcular el límite superior de control LSC_{np}

$$LCS_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}} = 120 \times (0,076) + 3\sqrt{120 \times 0,076(1 - 0,076)} = 17,87$$

3. Calcular el límite inferior de control LIC_{np}

$$LCS_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}} = 120 \times (0,076) - 3\sqrt{120 \times 0,076(1 - 0,076)} = 0,43$$

4. Construir el gráfico np

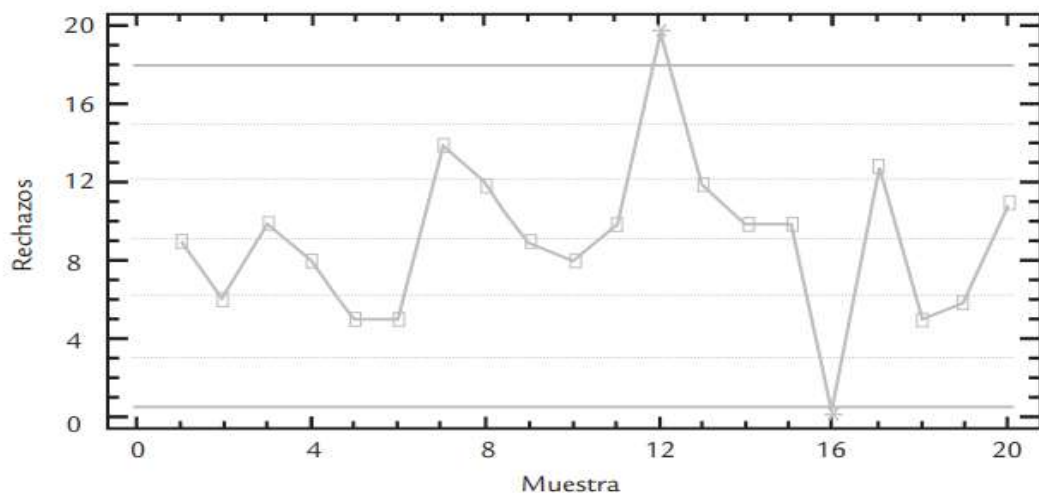


Figura 24. Gráfica p para los componentes defectuosos o disconformes por muestra.

Fuente: Gutiérrez y De La Vara, 2013

Los límites del gráfico np (Figura 24) indican qué tanto varía la cantidad esperada de piezas defectuosas por cada n artículos inspeccionados. Por ello, en este ejemplo se espera que, de cada muestra de 120 componentes inspeccionados, el número de rechazados varíe entre 0,43 y 17,87, con un promedio de 9.15. Estos límites reflejan la realidad del proceso de acuerdo a

como se muestra, notándose inestabilidad por lo que se deben identificar las causas y aplicar las acciones correctivas para mejorar.

- **Gráfico EWMA.** Su estadístico que corresponde al promedio móvil ponderado por cada dato, se define como sigue:

Para definir los valores que toma EWMA, el estimador se rige por la siguiente ecuación:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}$$

Donde $0 < \lambda < 1$ se toma como una constante y su valor inicial es el valor objetivo del proceso, es decir, $z_0 = \mu_0$

De esta manera, el gráfico EWMA se construye a partir de la graficación de z_i versus el número de la muestra i . La línea central y los límites de control superior e inferior para el gráfico EWMA están dados por:

$$LCS = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{1 - (1 - \lambda)^{2i}}{2 - \lambda}}$$

$$\text{Línea central} = \mu_0$$

$$LCS = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{1 - (1 - \lambda)^{2i}}{2 - \lambda}}$$

Los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de estos gráficos son el múltiplo de sigma en los límites de control (L) y el valor de λ . En relación con los parámetros del gráfico EWMA que se deben utilizar, se puede decir que son muchos los estudios que se han realizado sobre este tema; de hecho, la gran mayoría de estudios sobre diseño económico de cartas de control están relacionados con la determinación de los parámetros

óptimos que se deben usar en estas cartas para obtener los mejores costos asociados a la calidad.

En general, los estudios determinan qué valores de λ en el intervalo $0.05 \leq \lambda \leq 0.25$ tienen un buen desempeño, una buena regla es utilizar pequeños valores de λ para detectar pequeños cambios. Los estudios determinan que para un $L=3$ (el usual límite de tres sigma) resulta útil trabajar con grandes valores de λ . Sin embargo, cuando $\lambda \leq 0.1$ es ventajoso reducir el ancho de límites utilizando valores de L entre 2.6 y 2.8.

Teniendo en cuenta lo anterior, para este estudio se decidió utilizar un $\lambda = 0.1$ y $L=2.7$, los cuales han demostrado ser unos buenos parámetros para los gráficos EWMA.

Gráfico de control \bar{X} : Suponiendo que cuando el proceso está bajo control, se cumple que $\bar{X}; N(\mu, \sigma)$.

Esto quiere decir que el proceso está regido por una distribución normal, cuyos parámetros son μ (media) y σ (varianza). Teniendo en cuenta esto, se puede deducir que la media muestral \bar{X} también sigue una distribución normal, de la siguiente manera:

$$\bar{X}; N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Para complementar el análisis de un proceso que siga la distribución antes descrita, se busca determinar la probabilidad que una muestra se encuentre en intervalos determinados por la cantidad de desviaciones estándar por encima y por debajo de la media. De esta manera se logró determinar que para tres desviaciones se obtiene lo siguiente:

$$p\left(\mu - \frac{\sigma}{3\sqrt{n}} \leq \bar{X} \leq \mu + \frac{\sigma}{3\sqrt{n}}\right)$$

Ejemplo: se aplicará la carta de control EWMA con $\alpha = 0.10$ y $L = 2.7$ a los datos del Cuadro 8. Recuérdese que el valor objetivo de la media es $\mu_0 = 10$ y que la desviación estándar es $S = 1$. En el Cuadro 8 se resumen los cálculos de la carta de control EWMA y la carta de control se muestra en la Figura 25.

Para ilustrar los cálculos, considérese la primera observación $X_1 = 9.45$ y se procede a calcular el EWMA y, así sucesivamente con todos los valores:

$$Z_1 = \lambda \cdot X_1 + (1 - \lambda) \cdot Z_0$$

$$Z_1 = 0.1 \cdot (9.45) + 0.9(10)$$

$$Z_1 = 9.945$$

Cálculo de límites de control: UCL (límite superior de control) y LCL (límite inferior de control) (Ecuaciones 33 y 34)

$$UCL = \mu_0 + L \cdot \sigma \sqrt{\lambda / ((2 - \lambda)) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$

$$UCL = 10 + 2.7(1) \sqrt{(0.1 / ((2 - 0.1)) [1 - (1 - 0.1)^{2(1)}]}$$

$$UCL = 10.27$$

$$LCL = \mu_0 - L \cdot \sigma \sqrt{\lambda / ((2 - \lambda)) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$

$$LCL = 10 - 2.7(1) \sqrt{(0.1 / ((2 - 0.1)) [1 - (1 - 0.1)^{2(1)}]}$$

$$LCL = 9.73$$

La anchura de los límites de control se incrementa conforme i se incrementa $i=1,2,\dots$, hasta que se estabiliza en los valores del régimen permanente o estable

$$UCL = \mu_0 + L \cdot \sigma \sqrt{\lambda / (2 - \lambda)}$$

$$UCL = 10 + 2,7 (1) \sqrt{0,1 / (2 - 0,1)}$$

$$UCL = 10,62$$

$$LCL = \mu_0 - L \cdot \sigma \sqrt{\lambda / (2 - \lambda)}$$

$$LCL = 10 - 2,7 (1) \sqrt{0,1 / (2 - 0,1)}$$

$$LCL = 9,38$$

Cuadro 8. Datos recopilados para la construcción del gráfico EWMA

Subgrupo, i	Fuera de los límites x_i	EWMA, z_i
1	9,45	9,945
2	7,99	9,7495
3	9,29	9,70355
4	11,66	9,8992
5	12,16	10,1253
6	10,18	10,1307
7	8,04	9,92167
8	11,46	10,0755
9	9,2	9,98796
10	10,34	10,0232
11	9,03	9,92384
12	11,47	10,0785
13	10,51	10,1216
14	9,4	10,0495
15	10,08	10,0525
16	9,37	9,98426
17	10,62	10,0478
18	10,31	10,074
19	8,52	9,91864
20	10,84	10,0108
21	10,9	10,0997
22	9,33	10,0227
23	12,29	10,2495
24	11,5	10,3745
25	10,6	10,3971
26	11,08	10,4654
27	10,38	10,4568
28	11,62	10,5731
29	11,31	10,6468*
30	10,52	10,6341*

Construcción del gráfico EWMA

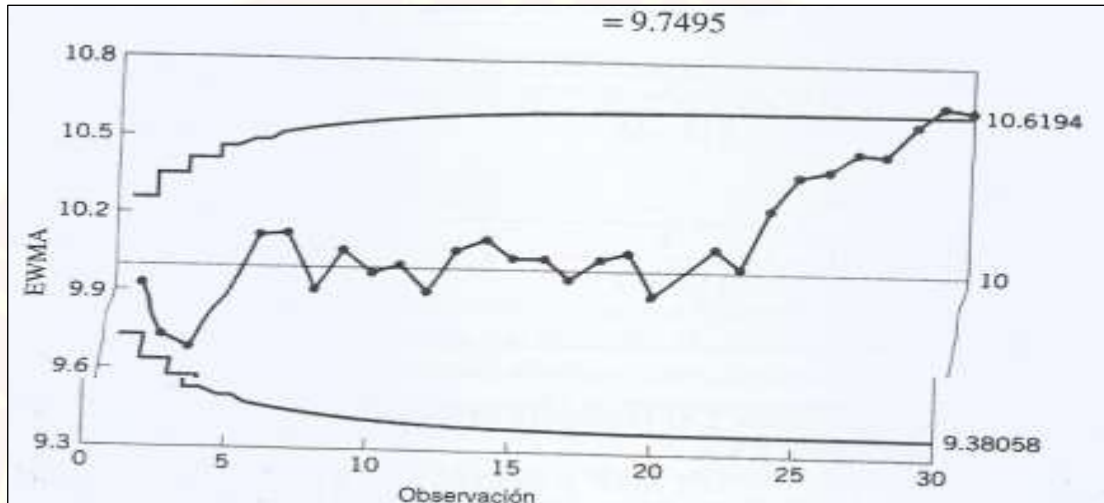


Figura 25. Gráfico ejemplo EWMA

Fuente: Huerga y Abad, 2000.

Este gráfico indica una señal en la observación 28 notándose una condición fuera de control.

➤ Gráfico CUSUM:

Los gráficos CUSUM incorporan directamente toda la información contenida en las muestras tomadas del proceso, al graficar las sumas acumuladas de las desviaciones de éstas con respecto al parámetro de medición. Por ejemplo, suponiendo que se tiene una muestra de tamaño $n \geq 1$ y \bar{x}_j es el promedio de la j -ésima muestra. Entonces, si μ_0 es el parámetro para la media del proceso, la gráfica de control de suma acumulada es elaborada con la siguiente cantidad:

$$C_i = \sum_{j=1}^i (X_j - \mu_0) \quad (35)$$

Se le llama C_i a la suma que acumula las desviaciones de las medias muestrales con respecto a la media poblacional hasta la i -ésima muestra. El hecho de que este tipo de gráfico tenga en cuenta información de varias muestras, le da mayor sensibilidad ante cambios pequeños en los procesos, lo cual se traduce en una ventaja ante otros tipos de gráficos de control.

Ejemplo de gráfico CUSUM tubular tomado de Escalante (2013):

Se desea evaluar el comportamiento de un proceso de empacado de galletas en cajas de 1kg y se desea detectar cambios de 0,035 kg. Se sabe que $\sigma=0,07$. Los cálculos se muestran a continuación y el seguimiento de la gráfica junto con las observaciones se indican en el Cuadro 9.

$$\sigma=0,07 \quad \mu_0=1 \quad \mu_1=1+0,035=1,035$$

$$K = \frac{[1,035 - 1]}{2} = 0,0175$$

$$H = 5\sigma = 5 \cdot (0,07) = 0,35$$

$$C_i^+ = \max[0, x_i - 1,075 + C_{i-1}^+]$$

$$C_i^- = \max[0, 0,098 - x_i + C_{i-1}^-]$$

Inicio del llenado del cuadro para $i=1$, $X_1=0,97$ kg

$$C_1^+ = \max[0, x_1 - 1,075 + C_0^+] = \max[0, -0,0475 - C_0^+] = \max[0, -0,0475 + 0]$$

$$C_1^+ = 0$$

$$C_1^- = \max[0, 0,098 - x_1 + C_0^-] = \max[0, 0,0125 + C_0^-] = \max[0, 0,0125 + 0]$$

$$C_1^- = 0,0125$$

Se continua hasta llenar toda la información del cuadro. El en Cuadro 9 se indica toda la información necesaria para la construcción del gráfico CUSUM. La palabra RESET que se observa significa que se pasó el límite de la decisión H y, a partir del siguiente punto, el valor acumulado se coloca en cero. En este caso $C_+ (i=15)=0$. N_+ y N_- representan el número de sucesivo de valores de C_+ o C_- que son mayores que cero y sirve para indicar el punto en el que inició el cambio.

Cuadro 9. Datos y desarrollo del gráfico CUSUM

i	X	$X-1.0175$	C_+	N_+	Decisión	$0.9825-X$	C_-	N_-	Decisión
1	0.97	-0.0475	0.000	0		0.0125	0.013	1	
2	1.05	0.0325	0.033	1		-0.0675	0.000	0	
3	1.05	0.0325	0.065	2		-0.0675	0.000	0	
4	1.05	0.0325	0.097	3		-0.0675	0.000	0	
5	1.04	0.0225	0.120	4		-0.0575	0.000	0	
6	1.05	0.0325	0.153	5		-0.0675	0.000	0	
7	1.03	0.0125	0.165	6		-0.0475	0.000	0	
8	1.05	0.0325	0.198	7		-0.0675	0.000	0	
9	1.04	0.0225	0.220	8		-0.0575	0.000	0	
10	1.05	0.0325	0.253	9		-0.0675	0.000	0	
11	1.04	0.0225	0.275	10		-0.0575	0.000	0	
12	1.03	0.0125	0.288	11		-0.0475	0.000	0	
13	1.02	0.0025	0.290	12		-0.0375	0.000	0	
14	1.05	0.0325	0.323	13		-0.0675	0.000	0	
15	1.05	0.0325	0.355	14	Reset	-0.0675	0.000	0	
16	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
17	0.98	-0.0375	0.000	0		0.0025	0.003	1	
18	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
19	1.00	-0.0175	0.000	0		-0.0175	0.000	0	
20	1.00	-0.0175	0.000	0		-0.0175	0.000	0	
21	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
22	0.98	-0.0375	0.000	0		0.0025	0.003	1	
23	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
24	1.01	-0.0075	0.000	0		-0.0275	0.000	0	
25	1.02	0.0025	0.002	1		-0.0375	0.000	0	
26	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
27	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
28	0.98	-0.0375	0.000	0		0.0025	0.003	1	
29	1.01	-0.0075	0.000	0		-0.0275	0.000	0	
30	0.99	-0.0275	0.000	0		-0.0075	0.000	0	
32	1.02	0.0025	0.002	1		-0.0375	0.000	0	
33	1.01	-0.0075	0.000	0		-0.0275	0.000	0	

Fuente: Escalante (2013).

En la Figura 26 se muestra el gráfico CUSUM para el empaquetado de galletas donde se observa que la media del proceso tuvo un cambio significativo en el punto 15. Como $N_+=14$, $15-14=1$, es decir el cambio quedó entre los puntos 1 y 2. Una vez detectado el cambio se procede a investigar y eliminar las causas y la gráfica se coloca en cero para iniciar un nuevo ciclo.

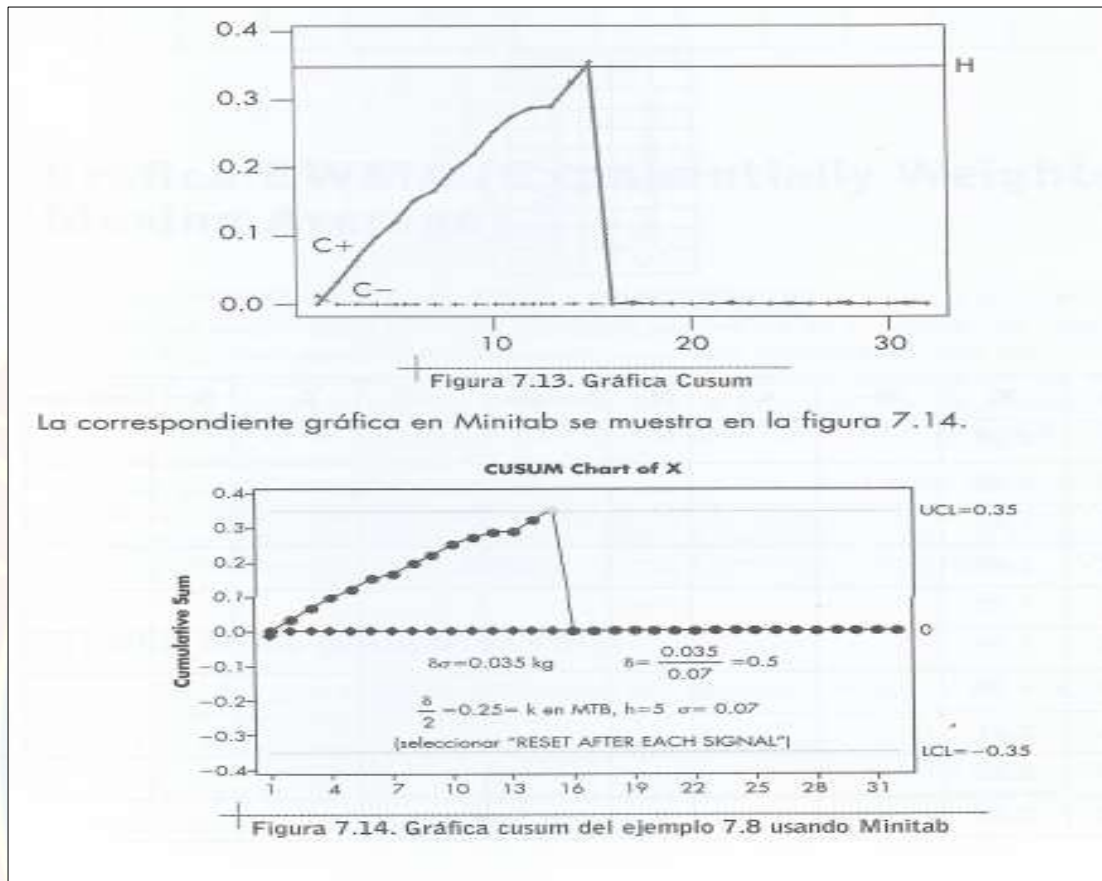


Figura 26. Ejemplo gráfico CUSUM

Fuente: Huerga y Abad, 2000.

SOFTWARE ESTADÍSTICOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

La realización de los Gráficos de control (Medias y Rangos ó Medias y Desviaciones) con el programa estadístico Statgraphics es muy similar.

Según Gutiérrez y De La Vara (2009), los gráficos de control se encuentran en programas estadísticos especializados que tienen cierta orientación industrial. A continuación se da una guía básica para obtener gráficos de control por medio de Statgraphics y Minitab.

Statgraphics centurion XVI

Este es un programa computacional que puede ser empleado para la construcción de gráficos de control. Este programa estadístico tiene una ventana principal donde se observan palabras como “Archivo, Editar, Graficar, Describir, Comparar, Relacionar, Pronósticos, CPE, DDE, Snapstats, Herramientas, Ver, Ventana, Ayuda”. Además muestra varios íconos y un libro de datos constituido por 26 hojas indicadas por letras de A hasta Z que continen un cuadro rectangular de filas y columnas. En este libro de datos se incluirán la información a analizar y luego, al ingresar a la palabra “Controlar” se seleccionará el tipo de gráfico a construir. La realización de los Gráficos de control (Medias y Rangos ó Medias y Desviaciones) o de atributos con Statgraphics es muy similar (Gutiérrez y De La Vara 2009).

Ejemplo de uso de Statgraphics en una industria láctea (Figura 27):

Se empleó un programa de seguimiento durante el proceso de empaquetado de leche en polvo, por 5 días laborales continuos, para el control y mejora del proceso enfocado en la línea de producción. Para establecer el intervalo idóneo, se realizó la toma de muestra (paquetes de 1 Kg de leche en polvo) en periodos de 30 minutos que por experiencia existe la posibilidad de actuación de una causa especial (parada y arranque de máquinas, relevo de operarios, cambio de materia prima, etc.). Dichos datos se introdujeron en el software estadístico Statgraphics Centurión 16.1.15 (XV), el cual admitió la construcción del gráfico y la consideración de los límites de control que marcan la tolerancia natural del proceso, para conocer dónde y cuándo han sucedido los cambios o causas especiales (denominadas también como causas asignables) de variación; con el fin de

tomar acciones correctivas que permitan eliminar la causa que ha originado la condición de fuera de control,

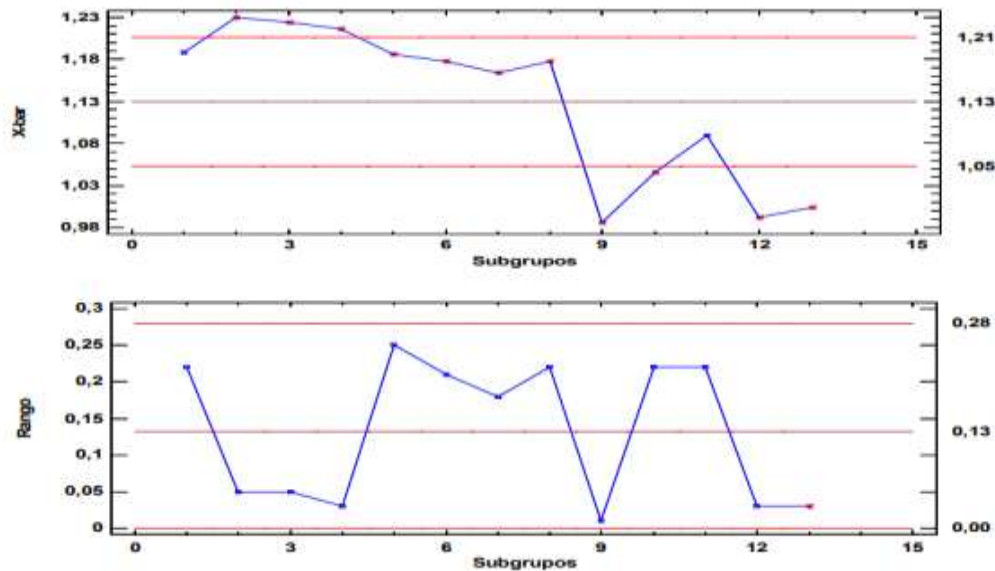


Figura 27. Gráficos de control X-R para el proceso de empaquetado de leche en polvo.

Fuente: Gutiérrez, 2012.

La aplicación del gráfico de control como herramienta de calidad para conocer el funcionamiento del proceso, para su posterior control, llevó a la obtención de un gráfico de control por variables (X,R), puesto que al presentar gráficamente la variación producida en el proceso en un tiempo determinado (una semana), se estimó a partir de la toma de 13 muestras, cada una de tamaño $n = 5$ ($n < 10$), de acuerdo a Montgomery (2007). Bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal, se obtuvo a partir de una media igual a 1,13 Kg y una desviación estándar igual a 0,06 Kg, de 13 puntos no excluidos, 7 se encuentran fuera de los límites de control en el gráfico de medias, mientras que no existieron puntos fuera de límites en la gráfica de rangos (recorrido muestral), tal como lo muestra la

Figura 27. Por lo que, puede considerarse que el proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%.

Otro ejemplo de uso del Statgraphics, según Cabezón (2014), en el proceso automatizado de llenado de envases en el cual es importante tener un control sobre el nivel de llenado, ya que la Ley obliga a respetar contenidos mínimos además que el sobrellenado es causa de altos costos que causan pérdidas y pueden comprometer la rentabilidad económica de la producción. Los datos de llenado de las botellas corresponden a 100 cc. Este llenado produce 5000 botellas por hora. En el estudio inicial se toman 20 muestras de 5 botellas cada una. Las muestras se suponen tomadas en distintos turnos y en distintos días para mostrar toda la variabilidad del proceso. Se introducen los datos en el libro de datos del programa estadístico Statgraphics como se muestra en la Figura 28.

	Subgrupo	Cantidad llenado
1	1	100,185570743
2	1	99,9664006554
3	1	99,6303532798
4	1	100,086245217
5	1	99,3952511432
6	2	99,0970285773
7	2	99,3495456438
8	2	99,240784453
9	2	98,7936413293
10	2	99,0085036912
11	3	100,047228759
12	3	100,051309378
13	3	99,2149029685
14	3	100,19976918
15	3	99,4922954493
16	4	100,20106088
17	4	100,341295772
18	4	100,398620023
19	4	100,368087159
20	4	99,727055337
21	5	100,953762138
22	5	100,069555006
23	5	99,4703692749
24	5	99,2786185379

Figura 28. Carga de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Luego seleccionar el tipo de gráfico que se usará, en este caso Gráfico X-R

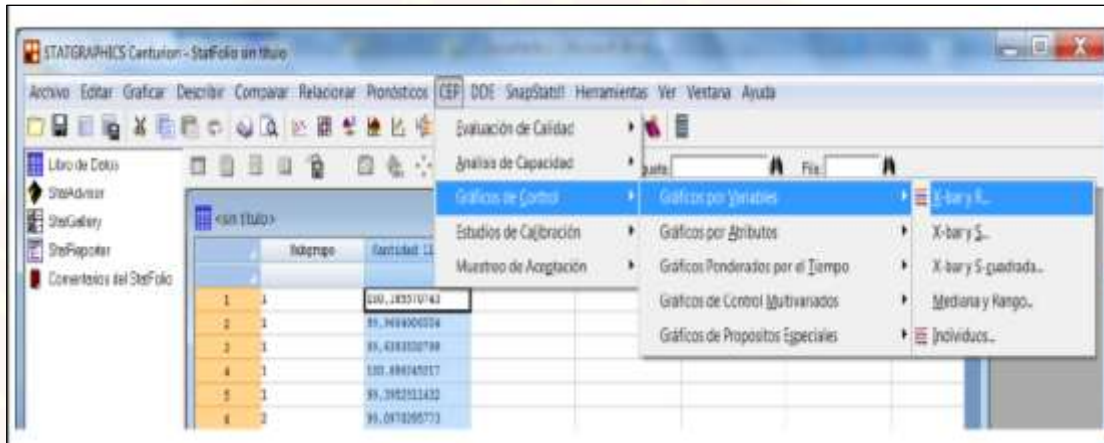


Figura 29. Selección de Gráfico de datos en el Statgraphics
Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Desplegando la siguiente ventana (Figura 30):

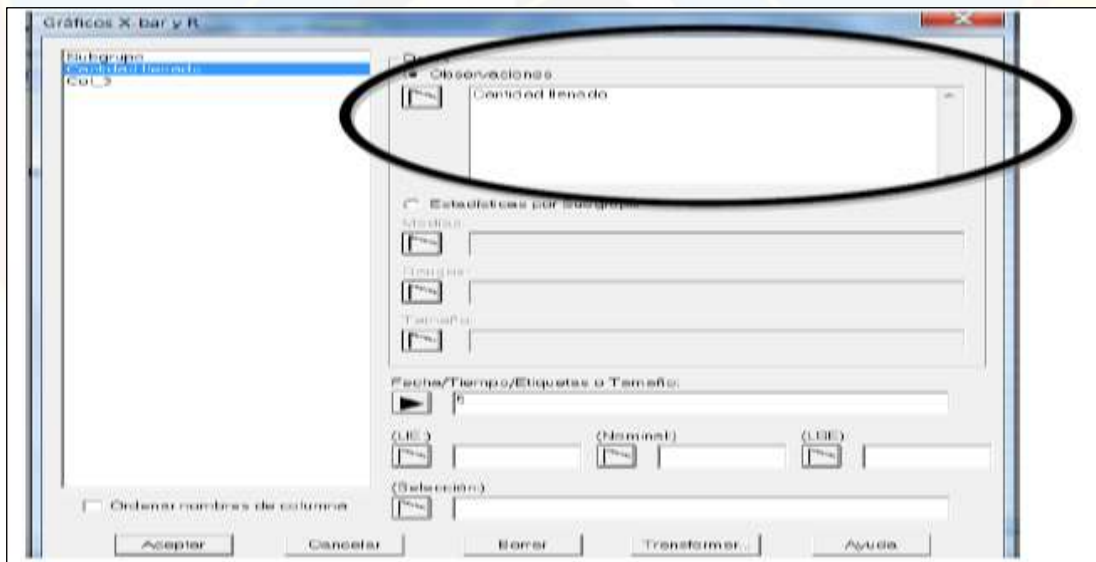


Figura 30. Configuración de Variable en Gráfico de datos en el Statgraphics
Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Una vez que hace click en la Configuración de Varianle, despliega la siguiente Ventana, donde selecciona **Estudio Inicial** (Figura 31).

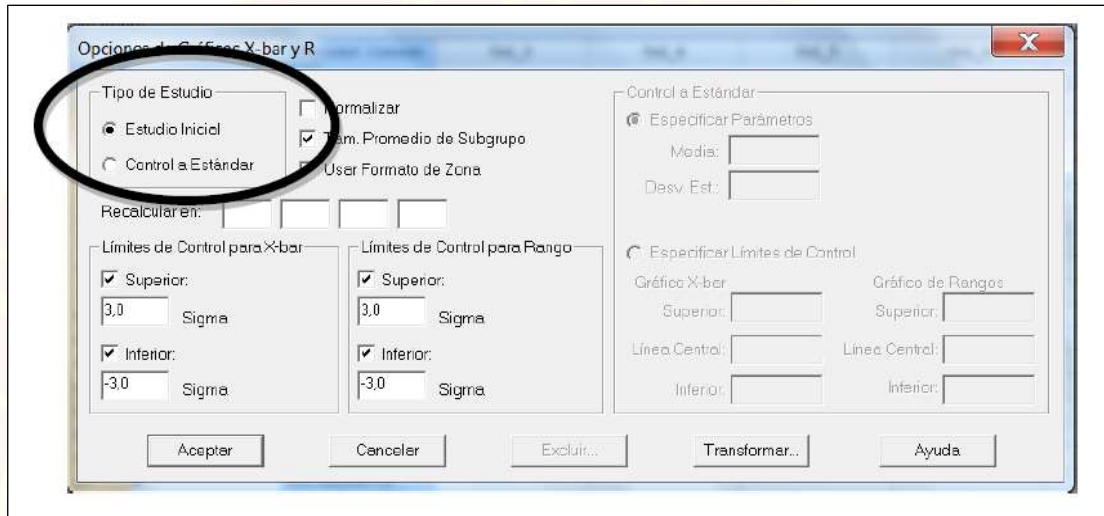


Figura 31. Selección Estudio Inicial en Gráfico de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Al hacer clic, despliega la Ventana **Tablas y Gráficos**, se procede a seleccionar **Resumen del Análisis**; opción objeto de estudio, en la construcción de los gráficos X y R (Figura 32).

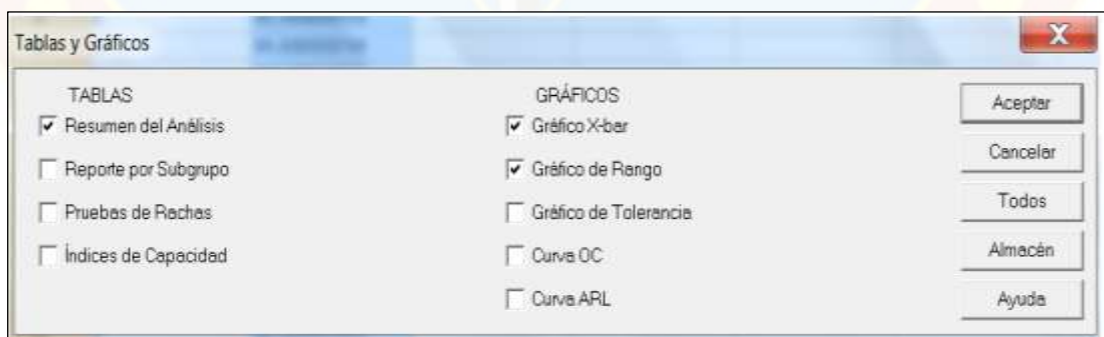


Figura 32. Selección Resumen del Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Al hacer clic, despliega la ventana de Gráficos X-R, ya como resultado del análisis y construcción de la gráfica, en base a los datos estadísticos suministrados inicialmente (Figura 33).

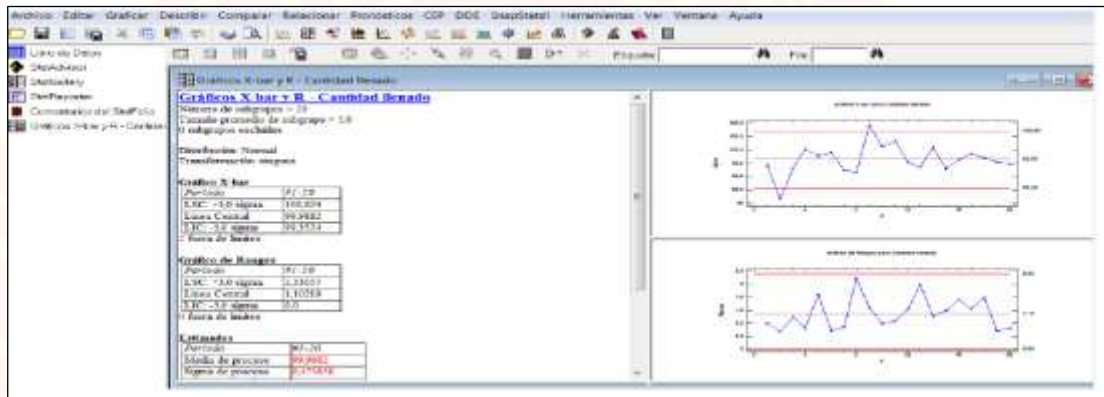


Figura 33. Despliegue de Resultados del Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Ahora bien, es importante destacar, que si la gráfica presenta valores fuera de control, esta herramienta tiene una opción para mejorar la gráfica y puede encontrarse en el botón **Excluir.**, tal como se muestra en la siguiente Figura 34.



Figura 34. Ajuste de puntos fuera de control en Análisis en Gráfico de datos en el Statgraphics.

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Al hacer clic, desplegar una ventana de resultado tal como se muestra a continuación (Figura 35).

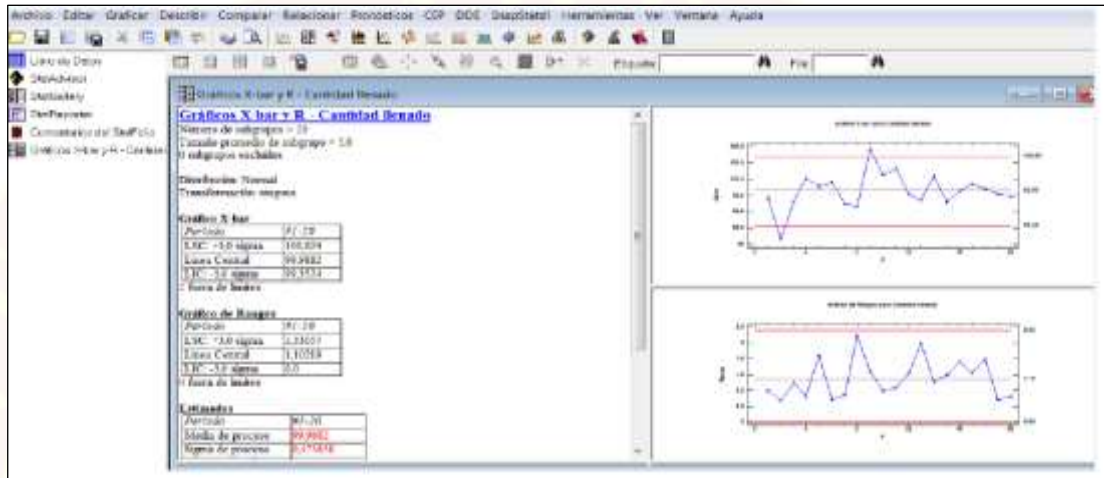


Figura 35. Despliegue de Gráfico de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Si perciben los puntos fuera de control, entonces se puede proceder de forma manual a través de la ventana Opciones de Excluir/Incluir, seleccionando la opción Manual, tal como se muestra a continuación (Figura 36)



Figura 36. Despliegue de Gráfico de datos en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Al hacer clic en el botón Aceptar de la Ventana Opciones de Excluir/Incluir, el usuario puede seleccionar el punto a excluir en gráfico de control X en el llenado de las botellas, tal como se muestra a continuación (Figura 37).

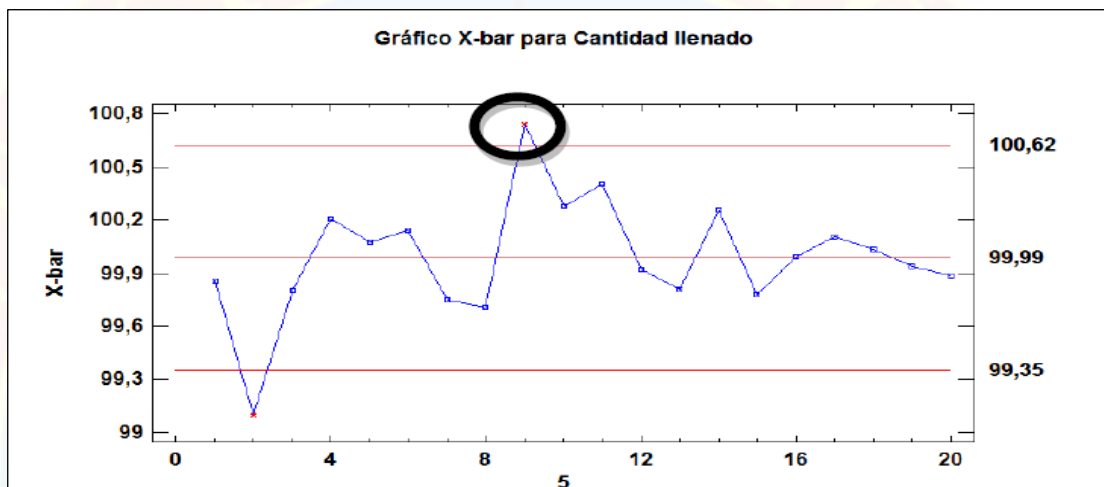


Figura 37. Despliegue de Gráfico de datos selección manual en el Statgraphics

Fuente: Extraído de Statgraphics, 2020.

Establecer las acciones correctivas necesarias para la mejora del proceso.

MINITAB

En este software se sigue la secuencia: Stat → Control Charts, y en la parte inferior se elige la carta de atributos deseada. Después aparecerá una pantalla en la que se proporciona la información solicitada de acuerdo a cada Gráfico. En el caso de que el tamaño de subgrupo sea constante se da el valor en Subgroup Size; pero si es variable, entonces en el campo Subgroup Size in se da la columna que contiene los tamaños de subgrupo. En Tests se

puede seleccionar el tipo de pruebas que se aplicarán para detectar causas especiales de variación. Ejemplo de software Minitab:

Un ingeniero especializado en calidad que trabaja en una compañía de enlatado evalúa si el proceso de llenado de las latas se encuentra bajo control. Cada hora, el ingeniero recoge un subgrupo de 10 latas. Para minimizar la variación dentro de los subgrupos (entre las latas), el ingeniero recoge las latas de un subgrupo específico en un breve período de tiempo (Figura 38).

Para la formulación de los datos en el software, realiza los siguientes pasos:

- El ingeniero crea una gráfica Xbarra para monitorear el peso de las latas.
- Abra los datos de muestra, PesoLatas.MTW.
- Elija Estadísticas > Gráficas de control > Gráficas de variables para subgrupos > Xbarra.
- En la lista desplegable, seleccione Todas las observaciones para una gráfica están en una columna, ingrese Peso.
- En Tamaños de los subgrupos, ingrese ID subgrupo.
- Haga clic en Opciones de Xbarra.
- En la ficha Pruebas, seleccione 1 punto > K desviaciones estándar desde la línea central (Prueba 1), K puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central (Prueba 2) y K puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (cualquier lado) (Prueba 7). Si no está seguro de qué pruebas se aplican en su situación específica, utilice las pruebas 1, 2 y 7 cuando establezca por primera vez los límites de

control con base en los datos. Después de establecer los límites de control, puede usar los los valores conocidos de esos límites y la prueba 7 ya no es necesaria.

- Haga clic en Aceptar en cada cuadro de diálogo.

Interpretar los resultados

Un punto está fuera de control en la gráfica Xbarra. El ingeniero concluye que el proceso no es estable y debe ser mejorado.

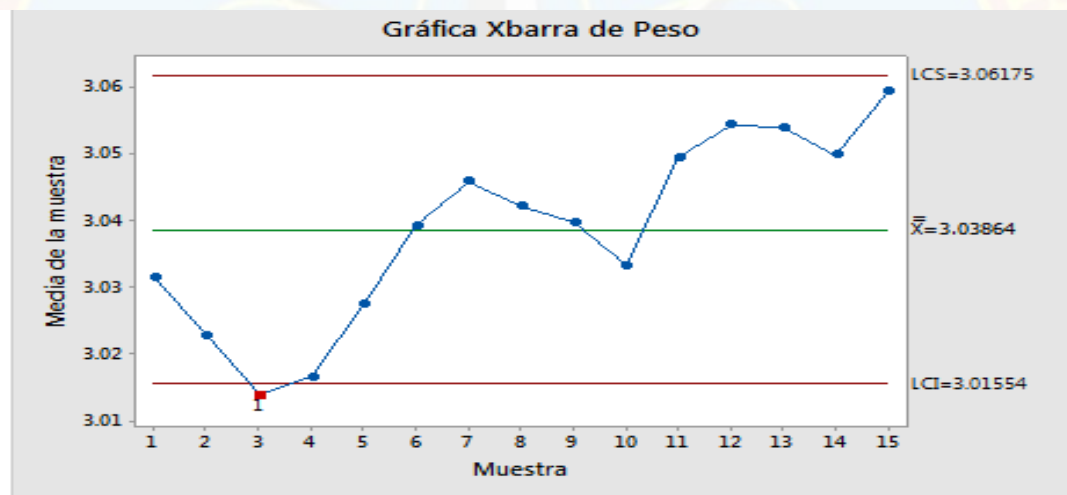


Figura 38. Gráfica Xbarra de peso con el uso de Minitab

Fuente: Gutiérrez, 2012.

Resultados de la prueba para la gráfica Xbarra de Peso

PRUEBA 1. Un punto fuera más allá de 3.00 desviaciones estándar de la línea central.

La prueba falló en los puntos: 3

* ADVERTENCIA * Si se actualiza la gráfica con los nuevos datos, los resultados anteriores quizás ya no sean correctos.

Betancourt (2018) señala: hay diversidad de softwares que tienen funciones para hacer montones de cosas con los gráficos de control. Incluso, en empresas de producción, hay maquinarias que elaboran a medida que producen las gráficas de control según la configuración asignada. La elección del programa estadístico dependerá del criterio de la empresa. Ambos cumplen la misma función cuando se trata de construcción de gráficos de control por lo que ambos son recomendables de aplicar.

BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

Actualmente la aplicación de los gráficos de control es indispensable para asegurar la calidad del proceso en las diferentes industrias, proporcionando algunos beneficios entre los cuales se pueden mencionar:

- Permiten analizar y comprender el funcionamiento de los procesos.
- Ayudan a detectar y controlar las características operacionales de las técnicas utilizadas.
- Facilitan el control y seguimiento de la repetibilidad, reproducibilidad, recuperación y sesgo de los métodos de laboratorio.
- Garantizan a futuro la normalidad de los datos en el proceso siempre y cuando éste siga un mismo procedimiento dentro de un entorno, lo cual permitiría establecer límites de seguridad y de acción, detectar tendencias, cambios cíclicos y por ende conocer el comportamiento del proceso.

Por otro lado, Moya (2015) indica que con la utilización de las gráficas de control se logra:

- Determinar el estado de control de un proceso.
- Diagnosticar el comportamiento de un proceso en el tiempo.
- Indicar si un proceso ha mejorado o ha empeorado.
- Identificar las dos fuentes de variación de un proceso.
- Sirve como una herramienta de detección de problemas.

Asimismo, para Carro y González (2013), son múltiples las ventajas que brinda el uso de estos gráficos, ya que si se utilizan en proceso como control estadístico tendrá mejor calidad en el cumplimiento de especificaciones del producto. Entre sus ventajas se puede decir que:

- Es una herramienta simple y efectiva para lograr un control estadístico.
- El operario puede manejar los gráficos en su propia área de trabajo, por lo cual puede dar información confiable de la operación en el momento en que se deben de tomar ciertas acciones.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predecirse su desempeño respecto a las especificaciones. En consecuencia, se puede contar con niveles consistentes de calidad y contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.
- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación.
- Al distinguir ente las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo una situación debe ser corregida localmente y cuando se requiere de una acción más colectiva.

Atendiendo a estas consideraciones, es importante resaltar que, con el uso de los gráficos de control se establecen los límites de control, analizar lo

normal y lo que no está bien, o si ha mejorado o empeorado a través del tiempo, se controlan los procesos analizados con esta herramienta; se determina su estabilidad y/o qué tan frecuente se sale de control, permitiendo intervenir en el proceso para mejorar su calidad y precisión.

Según Kelvis (2010), los gráficos de control constituyen a una herramienta estadística utilizada para evaluar la estabilidad de un proceso, la cual ayuda en la detección de modelos no naturales de variación en los datos que resultan de procesos repetitivos y dan criterios para detectar una falta de control estadístico.

Para Herrera (2012) un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando la variabilidad se debe solo a “causas comunes”, es por esto que tienen una gran importancia en el campo de control de calidad, debido a que en ellos se representan gráficamente los datos desempeñados, tomando en cuenta los límites de control estadístico. También permiten determinar mediante variaciones que sirven para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable o asegurarse que se mantenga en la misma condición, por ende, gracias a esta herramienta se puede observar en qué estado se encuentra el proceso.

Los gráficos de control como herramienta básica de calidad son muy importantes para la industria de alimentos porque con esta herramienta se pueden detectar circunstancias que podrían estar afectando de forma adversa la calidad de un producto; si la gráfica indica una situación fuera de control y/o un proceso que ha sido afectado por un origen especial, se podrá iniciar una investigación para identificar causas y tomar medidas que hagan que esto se pueda corregir. De esta manera, esta herramienta básica de calidad es de gran ayuda para la industria porque permite recabar

información para monitorear periódicamente al proceso productivo a fin de tomar las acciones correctivas necesarias para reparar cualquier falla en éste.

CASOS DE APLICACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Según Cantun (2011), la aplicación de las técnicas de los gráficos de control estadístico de calidad en la industria alimentaria, dedicada a la inspección, verificación y certificación, ha permitido identificar el proceso, realizar un análisis de la capacidad del mismo y sugerir acciones de mejora que permitan disminuir los costos derivados del incumplimiento de los objetivos de mercado. A continuación, se mencionan algunos casos de aplicación de los gráficos de control en la industria de alimentos:

Caso 1: Un estudio realizado con la empresa Kellogg's Colombia, en el que se busca el mejoramiento en el control de la línea de proceso de maíz; se analizó cada línea de producción, de manera que se pudiera identificar en cada etapa las posibles variaciones que puedan estar generando piezas quemadas en las hojuelas de maíz. Cantor (2017) propone un plan de mejoramiento en esta empresa de cereales; se requirió la ayuda de la herramienta estadística del gráfico de control $X - R$, permitiendo establecer límites de control en el cual se evaluaron las variables identificadas como críticas y se eligió el parámetro que tiene mayor impacto en la generación de carbones, para de esta manera acotar el control de proceso.

Para comenzar se plantea mediante un análisis de cada etapa del proceso y sus variables, entender qué sucede con el maíz a lo largo del proceso y cómo las variables afectan la hojuela. Para esto se requiere hacer

una inmersión en el proceso. En la Figura 39 se puede observar las principales operaciones unitarias que componen el proceso de preparación de hojuelas de maíz, el cual inicia con la recepción de materia prima y finaliza en empaque. El proceso es secuencial, por lo tanto, se debe garantizar en cada una de las operaciones los criterios de aceptación del producto en proceso, y por ende, el cumplimiento de las especificaciones del producto final.

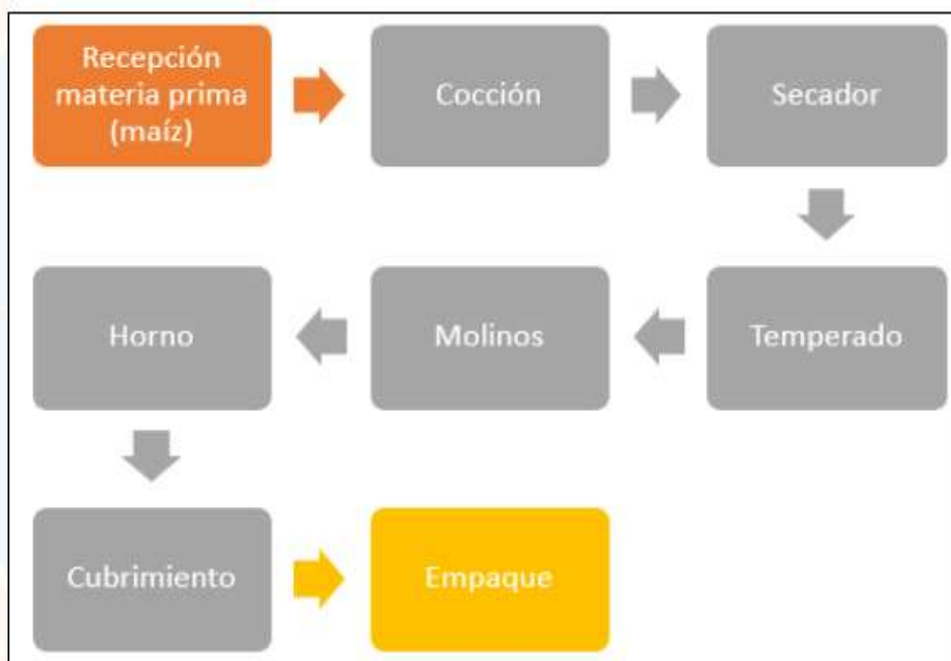


Figura 39. Proceso en línea de maíz.
Fuente: Cantor, 2017

Después de hacer la inmersión en el proceso, se tomaron datos de cada etapa del proceso para entender si se han presentado desviaciones y de esta manera definir cuáles son realmente las etapas claves en el proceso y así definir las variables que en estas etapas afectan el proceso. La generación de carbonos se da cuando la humedad aumenta y pasa el nivel máximo definido. Por lo tanto, esta etapa puede descartarse como causa de

la problemática que se está presentando con la formación de carbones. Luego de hacer este análisis en un periodo de 6 meses, se puede definir cuáles son las etapas críticas, en las cuales es necesario evaluar las variables que afectan estas etapas y así definir cuál va a ser el factor de calidad en este caso la variable que debe ser controlada.

En la Figura 40 se observan las etapas que son consideradas como significativas, después de hacer el análisis en cada una de ellas. Están resaltadas con círculos rojos. En cada una de estas etapas, la temperatura está involucrada en el proceso y por ende está afectando las condiciones de humedad de la hojuela y con esto se generan las condiciones ambientales propicias para la formación de carbones en las diferentes etapas previamente evaluadas.

La única etapa que no involucra temperatura es la recepción de materia prima, sin embargo, se mantiene como una etapa crítica que, aunque no va a ser controlada mediante gráficos de control en la primera etapa de la evaluación del proceso, si requiere atención por parte del equipo de calidad, con planes enfocados en el desarrollo de sus proveedores y sus fichas técnicas.

Al finalizar la etapa de revisión del proceso, se identifican dos variables claves que se encuentran presentes en las etapas previamente definidas como críticas en las etapas de producción (en gris ver Figura 40). Estas dos variables son la temperatura y la humedad, ya que como se ha mencionado previamente las variables que se miden a lo largo del proceso son la temperatura, la presión y la humedad.

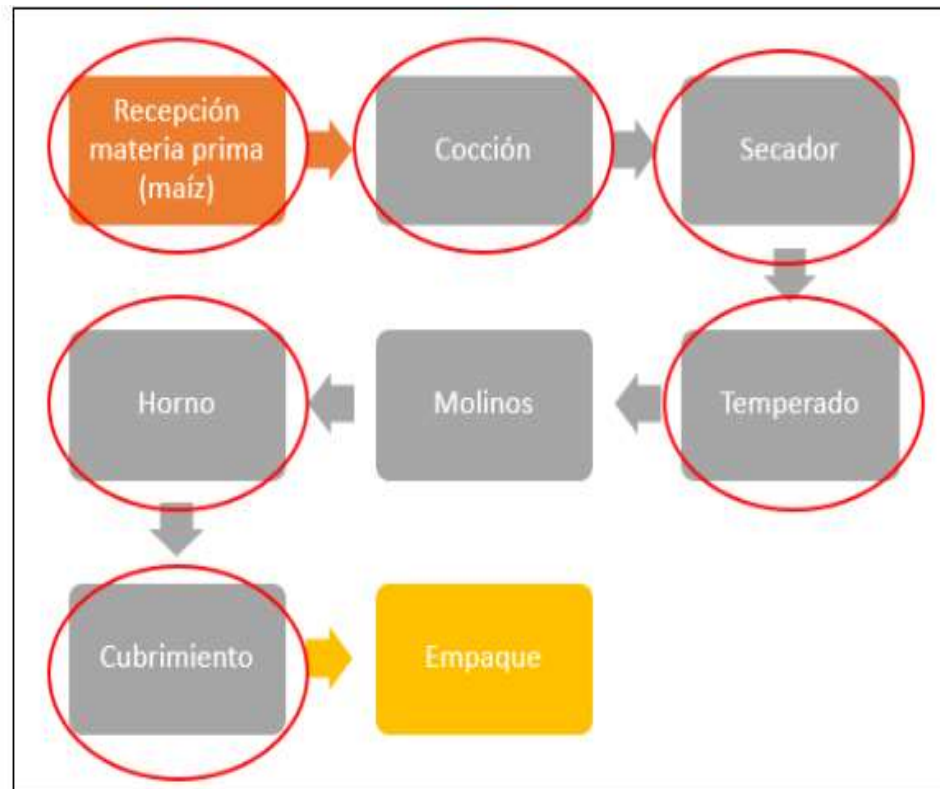


Figura 40. Etapas críticas del proceso

Fuente: Cantor, 2017

La idea de esta propuesta es poder analizar en tiempo real y constante el comportamiento de la temperatura, y de manera visual que permita a los operadores identificar desviaciones de esta variable, frente a lo que se ha especificado por el área experta. Como se requiere contar con una herramienta gráfica, que permita hacer seguimiento constante, se sugirió trabajar con un gráfico de control. En este caso al ser la temperatura una variable continua, se recomendó trabajar con un gráfico de control X y R. (Figura 41).

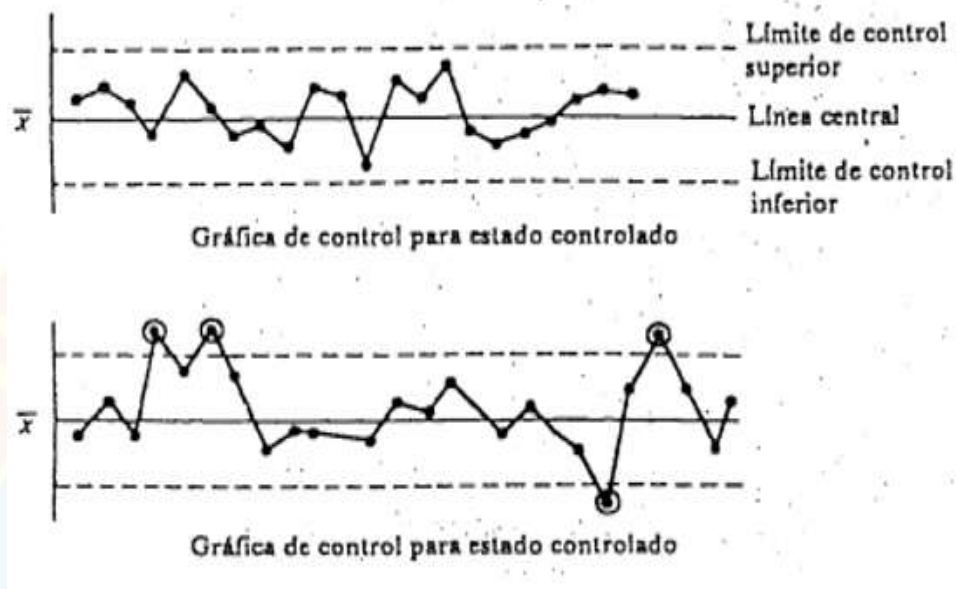


Figura 41. Ejemplo de gráfico de control para estado controlado.
Fuente: Cantor, 2017

Existen dos tipos de variabilidad, la que se presenta bajo condiciones naturales, que se ocasiona por la reunión de causas pequeñas a lo largo del proceso y que son inevitables, lo que hace de éste un proceso que está bajo control estadístico. Por otro lado, están los procesos que presentan variabilidad por problemas relacionados con los equipos, los operarios, los ingredientes, entre otros; esta variabilidad es significativa, no es aceptable y significa que se da por causas especiales y se dice que el proceso está fuera de control.

La mayoría de herramientas confiables son estadísticas, ya que no solo permiten reunir información valiosa, sino que adicional se puede usar esta información para tomar acciones frente a desviaciones.

En la Figura 42 se observa la sección principal de la plantilla, ya que es en este espacio donde los operarios registran los datos de temperatura y

humedad, los cuales son graficados siguiendo el gráfico de control X y R; para poder tomar decisiones que permitan evitar un producto final con carbonos.

CONTROL DE PROCESO CUBRIMIENTO - TURNO 1						Antes	Desp.
CONSECUTIVO BATCH		OPERARIO	J. Castro	PRODUCTO	1. Zarcas 15	Inventario inicial	
				RPM TAMBOR (Hz)	55	Recibido	
OPERACIÓN	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN	RPM TAMBOR (Hz estándar)	41-44	Inventario final	
HACIA MEZZANNE			008			Consumo	0 0
						Loss	
						Fecha de recambio	

Figura 42. Encabezado de la planilla de recolección de datos para gráficos de control X-R

Fuente: Cantor, 2017

Al ser la temperatura una variable que puede verse indirectamente afectada por variaciones en condiciones en el proceso como la velocidad de la banda, la carga de producto y la cantidad de jarabe; son mediciones que también se están tomando para en el caso de tener datos por fuera de parámetro, poder hacer un análisis total del proceso y encontrar la causa de esta desviación.

Los límites definidos fueron:

1. Límite especificación inferior: 35°C
2. Límite especificación superior: 39°C

En las Figuras 43 y 44 se observa un ejemplo del comportamiento de la temperatura (Gráfico X y R) obtenido durante el mes de agosto. En esta

gráfica se pueden observar los límites de especificación definidos y los límites de control obtenidos, y cómo ha sido el comportamiento de los datos.



Figura 43. Gráfica de control para promedios de temperatura en el mes de agosto en la línea de producción de maíz.

Fuente: Elaboración planta de producción. Cantor, 2017.



Figura 44. Gráfica de control para el rango de temperatura en el mes de agosto en la línea de producción de maíz.

Fuente: Elaboración planta de producción. Cantor, 2017

Durante este mes (agosto) no se presentaron datos por fuera de los límites de especificación o los límites de control, sin embargo, revisando la gráfica de rango se observa una tendencia en un grupo de datos que se encuentran por debajo de la línea central que es la línea ideal para la

gerencia. Revisando las condiciones presentadas durante este tiempo se identifica que el sistema de los quemadores no se había limpiado con la frecuencia definida, causando que la temperatura permaneciera por debajo de lo ideal.

Cantor (2017), acota en el estudio en cuestión que teniendo en cuenta que se pueden presentar datos por fuera de los límites de acotación, se espera que en los siguientes meses durante el seguimiento que se haga, en el caso de tener puntos por fuera del parámetro se siga el protocolo a continuación:

1. El operario debe avisar por radio inmediatamente al líder de equipo y este al líder de línea. En caso de ser fin de semana debe llamarse al líder de línea por teléfono.
2. El líder de línea/el líder de equipo debe ir inmediatamente al área de cubrimiento y revisar la criticidad de la desviación.
3. El líder de línea/el líder de equipo, debe parar el equipo y redireccionar el producto para no parar la línea.

Con este proceso se espera tener implementado un gráfico de control de proceso en cada etapa de la línea de producción y después de haber reunido varios datos en casos y/o situaciones reales, tener planes de acción definidos y descritos en cada puesto de control de calidad.

Cantor (2017), indica que a partir del desarrollo de este trabajo se concluyó que los gráficos de control son herramientas estadísticas útiles que permiten implementar controles en los procesos, para que de manera autónoma los operarios se involucren en la toma de decisiones frente a

desviaciones críticas que pueden poner en riesgo la calidad del producto final.

En este caso puntual se concluye que la herramienta del gráfico de control X y R es la más adecuada a utilizar teniendo en cuenta que la variable que la compañía quiere controlar en su proceso, es la temperatura, la cual es una variable continua. Con el uso de este gráfico se puede lograr la mejora en la línea de producción de proceso, disminuyendo la generación de carbonos lo cual como consecuencia va a disminuir el número de quejas de clientes; mediante el control de las condiciones del proceso, sin hacer inversión económicamente al inicio, sino exclusivamente trabajando de manera controlada y manteniendo la especificación de la temperatura requerida a lo largo del proceso.

Caso 2: este caso empleado por Garaicoa y Prada (2004), aplicaron el Diseño de un sistema para el control estadístico del proceso de producción en una empresa enlatadora de atún en el que emplearon herramientas estadísticas tales como: Diagrama de Pareto para representar las características cuantitativas (variables) y cualitativas (atributos) del producto; características que influyen de manera significativa en la calidad del producto, histograma de producción del producto según el tipo de mercado, se estableció la propuesta para la implementación de un sistema para el control estadístico del proceso en la empresa en el que se escogió un software llamado Minitab que permite automatizar el proceso de graficación, facilitar el análisis de cada característica de calidad, la identificación de las causas de variación en el proceso y la determinación de la capacidad del mismo. Se determinó el tamaño de muestra final y tipo de muestreo reforzando el sistema de control para elevar la calidad de la empresa,

mediante la utilización del software se facilita el proceso de análisis y almacenamiento de resultados.

Para realizar la aplicación del sistema se empezó con el registro de los datos de las características del proceso establecidas como críticas utilizando las hojas de control de proceso. Luego de obtener los datos de cada característica primordial, se introdujeron los datos en el programa (Software Minitab) y finalmente se realizó el control de proceso mediante el análisis de los gráficos de control en el que para variables (características cuantitativas; peso NETO) se aplicó el gráfico X—R y para atributos (características cualitativas; SANGRE) se empleó gráfico c y el gráfico p.

Una vez que se recolectaron las muestras, se introdujeron los datos en el software Minitab donde se obtuvieron los gráficos preliminares de X y de R que se muestran en la Figura 45, donde se examinan 6 puntos fuera de los límites de control en el gráfico X, mientras que para el gráfico R se examina 2 puntos fuera de los límites de control. Con el fin de alcanzar un proceso bajo control estadístico se realizó una depuración de los gráficos donde se eliminan los puntos fuera de los límites de control por la presencia de causas asignables. Los puntos se eliminan justificando las depuraciones por causas asignables debido a descalibración de la máquina llenadora cuando sube y baja el tornillo regulador, cantidad de llenado de atún en el túnel y descalibración de la máquina dosificadora por cambio de la presión. Se observan patrones cíclicos por la presencia de causas de variación natural debido a calibraciones de la máquina dosificadora y máquina llenadora.

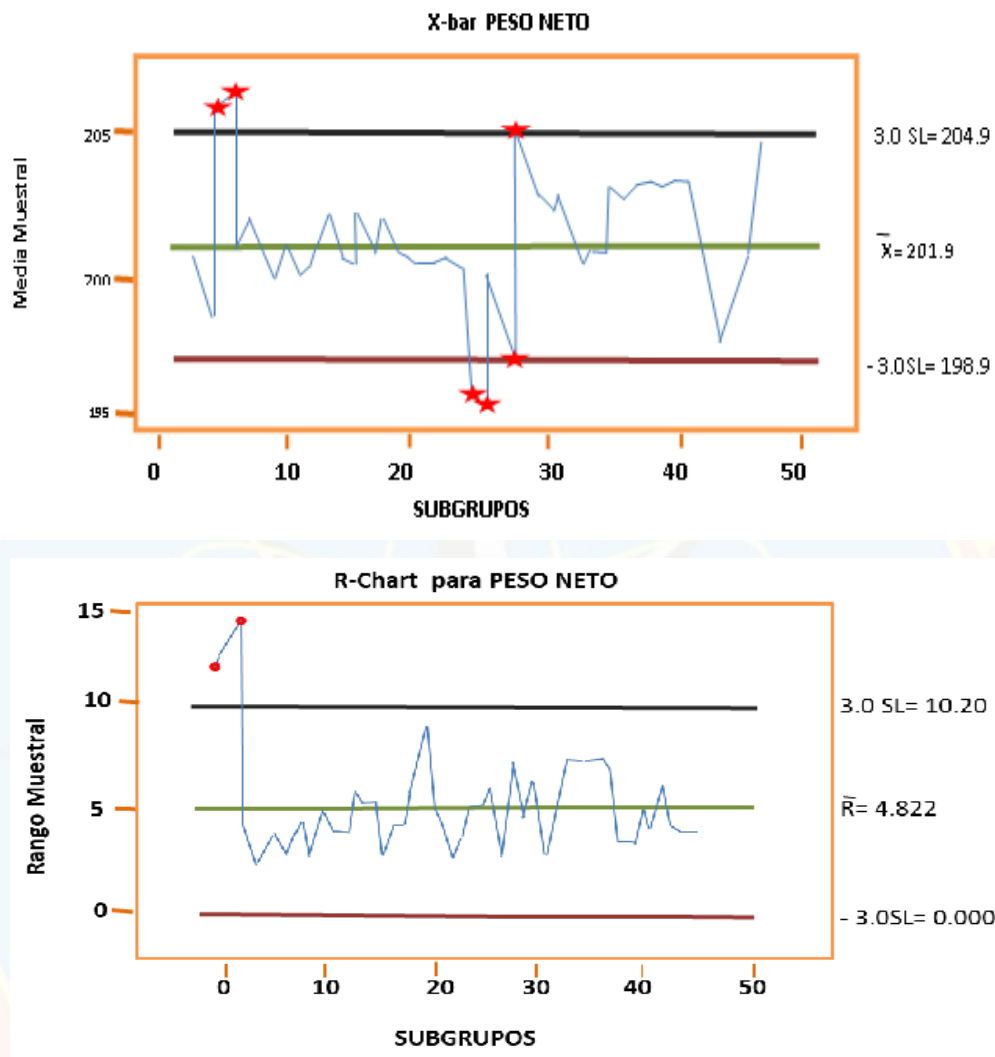


Figura 45. Diagramas preliminares de X y de R para peso Neto.
Fuente: Garaicoa y Prada, 2004.

Para el control de proceso mediante el análisis de los gráficos de control para atributos (características cualitativas; sangre) se muestra el monitoreo de las no conformidades del producto terminado por presencia de sangre a través de los gráficos c.

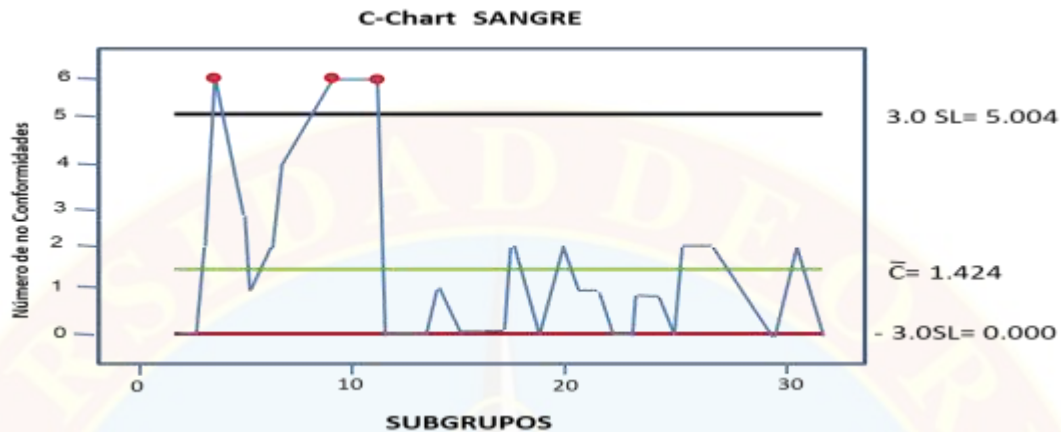


Figura 46. Gráfico C preliminar para Sangre.

Fuente: Garaicoa y Prada, 2004.

Una vez que se introdujo los datos en el software Minitab, se observó que 3 puntos están fuera de los límites de control de la gráfica C. Figura 36. Se realizó una depuración del gráfico para que el proceso esté bajo control estadístico donde se eliminó los puntos fuera de los límites de control justificando por la presencia de causas asignables, como que el personal no tuvo cuidado de extraer toda la carne oscura del lomo en la mesa de raspado.

Se determinó la capacidad cualitativa una vez que la característica de sangre está bajo control estadístico. Cabe indicar que la capacidad del proceso para un atributo es la línea central del gráfico de control, es decir para una gráfica C la capacidad cualitativa es C^- y para una gráfica P la capacidad cualitativa es P^- . En la Figura 47 se muestra la gráfica C de sangre cuando está bajo control estadístico donde la línea central es $C^- = 0.8621$ defectos. Este valor es la capacidad cualitativa y los puntos graficados varían en relación con la capacidad dentro de los límites de control.

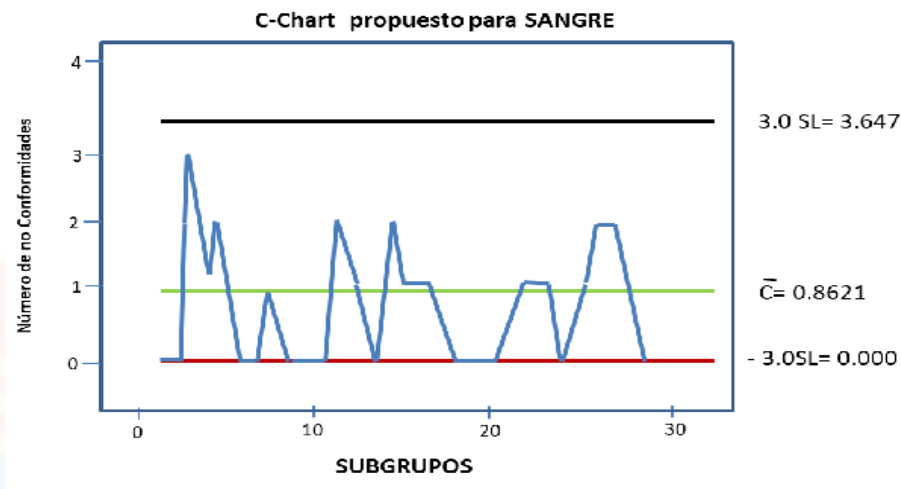


Figura 47. Gráfica C de sangre bajo control estadístico.
Fuente: Garaicoa y Prada, 2004.

Los resultados indican mejoras de la productividad de la compañía ya que los indicadores de porcentaje defectuoso mejoraron considerablemente en cada característica de calidad establecidas como críticas. Se midieron los indicadores de porcentaje defectuoso en la primera mejora cuando el proceso estaba bajo control estadístico y en la segunda mejora cuando el proceso tiene capacidad de satisfacer las especificaciones de la compañía y las necesidades de los clientes.

Para concluir con el estudio, los autores indicaron que, de acuerdo a la repetitividad de los problemas que se identificaron como causas asignables, para variables se pudo decir que el problema más frecuente se generó por descalibraciones en la máquina llenadora. Mientras que para atributos el problema más frecuente se dio en el descuido de la limpieza de los lomos por parte de las operarias en la mesa de raspado. También se acotó que el porcentaje generado de producto defectuoso tanto para variables como para atributos, ha disminuido a medida que el proceso fue mejorando en lo que respecta a su capacidad, lo que contribuye a la reducción de gasto

improductivo. Aunado a esto, se ha demostrado que la utilización de un software para la automatización de la construcción y análisis de los gráficos de control facilitó el proceso de análisis y almacenamiento de resultados; y redujo el nivel de dificultad para los cálculos de los límites de control y el tiempo para su elaboración y con base a los resultados que se generaron por las herramientas básicas de calidad, la empresa está en capacidad de generar información con los datos obtenidos y tomar decisiones respecto a la maquinaria, materia prima y el recurso humano ya sea como capacitación, ajustes, mantenimiento.

Otros casos de aplicación de gráficos de control en la industria de alimentos corresponden a lo mostrado por Ángeles (2019), el cual aplicó el control estadístico de procesos a través de la implementación de gráficos de control en la industria química (planta de combustible líquido ligero, destilería de alcohol etílico) y de alimentos (planta de espárragos enlatados, fábrica de café en polvo) de Perú. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad de los procesos de fabricación de las industrias peruanas, especialmente la química y alimentaria, a través del control de las variables en estudio y de acuerdo a las características de los productos; todo esto para predecir y mejorar la calidad tanto de los procesos como de los productos. Para ello, tomaron información de distintas variables de los procesos de fabricación de las cuatro industrias, luego construyeron la matriz de datos utilizando un SPC Software Excel para analizar los datos, seleccionarlos, construir e interpretar los gráficos de control.

En los casos de la industria de alimentos: primeramente, en el café en polvo, se construyeron gráficos de control X-R para el proceso de deshidratación de este producto tomando datos de temperatura de un día de operación obteniendo un total de 23 subgrupos (Figura 48). Los resultados

de estos gráficos indicaron que hubo puntos fuera de los límites de control y mucha variabilidad en el proceso porque se asumió que el proceso estaba fuera de control y posteriormente, el supervisor determinó que la causa (asignable) de tal variabilidad fue debida a problemas mecánicos que afectó al flujo de aire y después de esto, el problema fue solventado y se mejoró la calidad del producto.

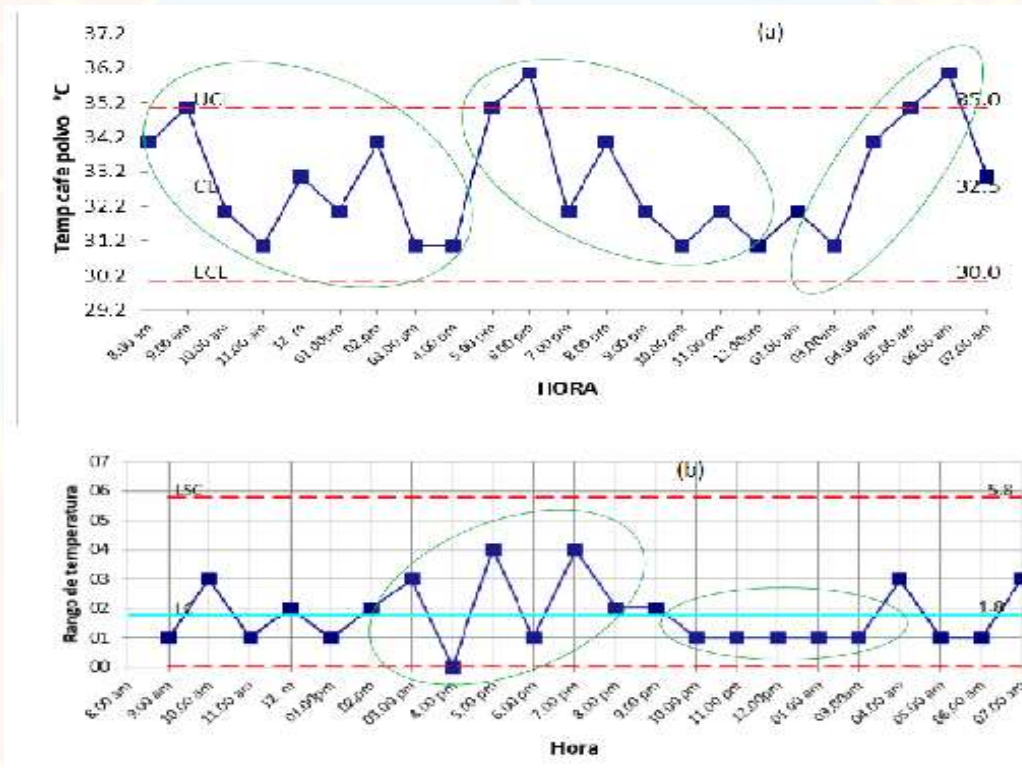


Figura 48. (a) Gráfico de control X para la temperatura del café en polvo; (b) Gráfico de control para el rango de temperatura del proceso de obtención del café en polvo.

Fuente: Ángeles, 2019.

Por otro lado, en el segundo caso de espárragos enlatados, se obtuvieron mediciones (% salmuera en el líquido de cobertura de las latas) tomadas cada hora durante un día de operación. Con estas mediciones

construyeron gráficos de control X-R (Figura 49) y concluyeron que en el proceso estaba presente una causa asignable (operario no entrenado) identificada por el supervisor que creó una señal de alerta en la preparación de la solución salina.

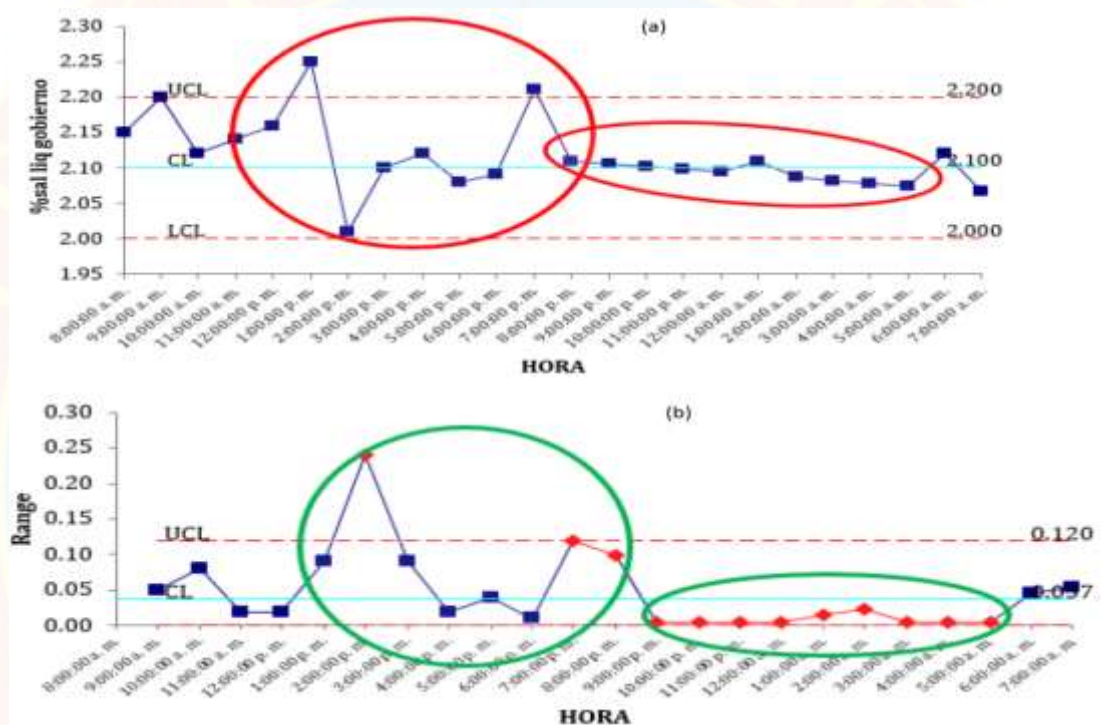


Figura 49. (a) Gráfico de control X para el porcentaje de sal en el líquido de cobertura de las latas de espárragos; (b) Gráfico de control para la estabilidad del proceso de preparación del líquido de cobertura de los espárragos enlatados.

Fuente: Ángeles, 2019.

En síntesis, se puede decir que en esta investigación la aplicación de los gráficos de control fue muy útil para el proceso productivo de estas empresas porque con esta herramienta se pudo diagnosticar el funcionamiento del proceso, monitorear la variabilidad, es decir, identificar las causas de variación y emplear acciones correctivas inmediatas para controlar

estas desviaciones que afectan la calidad del producto final. Esto resulta beneficioso para toda empresa de alimentos porque ayuda a reducir costos y a incrementar la productividad.



CONCLUSIONES

- ❖ El gráfico de control es un diagrama que muestra los valores producto de la medición de una característica de calidad, ubicados en una serie cronológica, en él se establece una línea central o valor nominal, que suele ser el objetivo del proceso o el promedio histórico, junto a uno o más límites de control, tanto superior como inferior, usados para determinar cuándo es necesario analizar una eventualidad y es una de las herramientas básicas de calidad utilizada en el análisis y solución de problemas.
- ❖ La normativa que refleja información relacionada con los gráficos de control corresponde a las normas COVENIN (3534-1:1995, 3534-2:1995, 3208:1996, 3209:1996, 3553:1999, 3777-1:2002) y ésta ofrece una orientación sobre los aspectos teóricos y prácticos de los gráficos de control como herramienta estadística necesaria para que toda empresa pueda evaluar, mejorar y controlar sus procesos productivos.
- ❖ Los gráficos de control están clasificados por variables, atributos, CUSUM y EWMA, donde los gráficos de control por variables son útiles para monitorear la variabilidad en la calidad de un proceso a través de la medición de características cuantitativas, mientras que los gráficos de control por atributos se centran en analizar el comportamiento de las características cualitativas y los gráficos CUSUM y EWMA son útiles para detectar cambios más pequeños en el proceso que podrían no ser evidentes en los gráficos de control tradicionales.
- ❖ Un gráfico de control se construye mediante etapas que varían de acuerdo con cada tipo (gráficos de control por variables, atributos, CUSUM, EWMA) con el fin de seleccionar los más adecuados para su

análisis posterior y el estándar de calidad que se pretende conseguir. Se pueden detectar circunstancias que podrían estar afectando de manera adversa la calidad de un producto y, si la gráfica indica una situación fuera de control, se podrá iniciar una investigación para identificar causas y tomar medidas que hagan que esto se pueda corregir.

- ❖ Primordialmente los gráficos de control tienen como misión dar a conocer a ciencia cierta las opiniones para constatar una falta de control estadístico dentro del sistema por lo que su aplicación aporta grandes beneficios que son de vital importancia para la mejora continua de cualquier proceso estadístico en la industria ya que es útil para observar, detectar y prevenir el comportamiento de un proceso.
- ❖ En las distintas investigaciones relacionadas con la aplicación de los gráficos de control, se logró demostrar las fallas en los diferentes procesos de producción, no obstante, se deben analizar y controlar los procesos a partir de esas fallas, tomar acciones correctivas para mejorar la calidad y los estándares de los procesos estadísticos y disminuir futuros errores en la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO V. 2001. Control Estadístico de la Calidad. Alfaomega. México D.F, México. pp 614.
- ANGELES P. 2019. Statistical process control applied in the chemical and food industry. Journal of Material Sciences & Engineering 8 (4): 1-7.
- ALFREDO H. 2002. Gráficos de control y Estadística. Lima, Perú. pp 110.
- ALONSO V. 2001. Control estadístico de la calidad. México D.F, Alfa omega. pp 614.
- BANKS F. 2012. Las cartas de control estadístico en procesos productivos. Estadística y Economía. Santiago de Chile, Chile. pp 10.
- BERARDINELLI A. 2017. A Guide to Control Charts. Página web en línea disponible en: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/a-guide-to-control-charts/>. Consulta: 28/01/2017.
- BESTERFIELD D. 2009. Control de calidad. PEARSON Educación. Ciudad de México. México. pp. 554.
- BETANCOURT D. 2018. Cómo hacer un gráfico de control. Ingenio Empresa. Colombia. Disponible en línea en <https://www.ingenioempresa.com/grafico-de-control/>. (Acceso: 05-10-2019).
- BRANDO G. 2017. Ingenio Empresa. El gráfico o diagrama de control Caracas. Venezuela. Disponible en línea en <https://aprendiendocalidadyadr.com/grafico-o-diagrama-de-control/>.(Acceso: 25/03/2018).
- CANTOR X. 2017. Propuesta de mejoramiento para el control de proceso en la línea de maíz en una empresa productora de cereales. [Disertación Grado Especialista Gerencia de la Calidad]. Bogotá. Colombia. pp 58.
- CANTUN H. 2011. Evolución e importancia de la calidad total. Desarrollo de una cultura de calidad. México, pp 3-7.

- CAPON, E. ROJAS T.2006. Causas asignables y no asignables. Barcelona, España, pp 15-16.
- CARRO J, GONZÁLEZ H. 2013. Métodos estadísticos. Zaragoza, España. pp 45.
- CARROLA M. 1997. Aseguramiento de la calidad a través del control estadístico de proceso. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería mecánica y eléctrica. División de Estudios de Postgrado. [Disertación Grado de Maestro en Ciencias de la Administración con Especialidad en Producción y Calidad]. México. pp.326.
- COVENIN – ISO. Norma Venezolana. 1995a. Estadística. Vocabulario y Símbolos. Parte 1: términos relativos a probabilidades y estadística general. FONDONORMA. NORMA COVENIN – ISO 3534-1:1995, pp 2.
- COVENIN – ISO. Norma Venezolana. 1995b. Estadística. Vocabulario y Símbolos. Parte 2: control estadístico de la calidad. FONDONORMA. NORMA COVENIN – ISO 3534-2:1995, pp 3.
- COVENIN. (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1995c. Gráficos de control de Shewhart. FONDONORMA. NORMA 3140. FONDONORMA. Caracas. Venezuela, pp 33.
- COVENIN. Norma Venezolana. Gráficos de Control. Guía general e introducción. FONDONORMA. NORMA COVENIN 3208: 1996, pp 3-7.
- COVENIN. Norma Venezolana. Gráficos de control para promedio aritmético con límites de advertencia. FONDONORMA. NORMA COVENIN 3209:1996, pp 1-4.
- COVENIN. Norma Venezolana. Directrices para la implementación del control estadístico de proceso (CEP). Parte1: elementos del CEP. FONDONORMA. NORMA COVENIN 3777:2002, pp 1-8.
- COVENIN. Norma Venezolana. Gráficos de control de Aceptación. NORMA COVENIN 3553:1999 ISO 7966:1993, pp 1-3.
- COVENIN-ISO. Norma Venezolana. Gestión de la Calidad y Elementos del Sistema de la Calidad parte 4: Lineamientos para el Mejoramiento de la Calidad. NORMA COVENIN 9004-4:1995, pp 1- 5.

- CUNNINGHAM, A. 2000. El Mapa. Inda Cunningham. Coahuila. México. 114 p.
- DELGADO R. 2008. Probabilidad y Estadística para Ciencias e Ingeniería. Delta publicaciones. Madrid. España. pp 438.
- ESCALANTE E. 2006. Análisis y Mejoramiento de la Calidad. Editorial Limusa. México D.F, México. pp 457.
- FIDIAS G. 2012. Proyecto de investigación. Caracas. Venezuela. Episteme., 5ta edición. pp 143.
- FRANCO C. 2016. Control de calidad multivariante. España, pp 123.
- GARCIA U. 2008. Estadística aplicada con: control estadístico de calidad; control estadístico de procesos. Caracas, Venezuela. pp 203.
- GONZALES, A. y JIMÉNEZ, H. 2001. Análisis del control de calidad en el proceso de fabricación de la Ginebra en Industrias Bravo y CIA, S.A. Universidad de Oriente Núcleo de Monagas. [Disertación Grado de Licenciado en Tecnología de Alimentos]. Maturín. Venezuela. pp 89.
- GUTIÉRREZ H y DE LA VARA R. 2004. Control estadístico de calidad y seis sigma. Mc Graw Hill. México D.F, México. pp 633.
- GUTIÉRREZ H DE LA VARA R. 2009. Control estadístico de la calidad y seis sigma. 2da ed. Mc Graw Hill. México. pp. 502.
- GUTIÉRREZ H DE LA VARA R. 2013. Control estadístico de la calidad y seis sigma. 3ra ed. Mc Graw Hill Education. México. pp. 490.
- GUTIERREZ M. 2012. Nociones de calidad total. Conceptos y herramientas. México, D.F. pp 201.
- GUTIÉRREZ O. 2012. Mejoras en el proceso de empaquetado de leche en polvo en presentación de 1 Kg en una empresa de servicio y producción agroindustrial. Universidad Central de Venezuela, Postgrado de la Facultad de Agronomía, Especialización en Gerencia de Sistemas de Calidad y Control estadístico de procesos. [Disertación Grado de Especialista en Gerencia de Sistemas de Calidad y Control Estadístico de Procesos]. Maracay. Venezuela. pp. 65.
- HERNÁNDEZ R. 2003. Metodología de la investigación. Mc Graw Hill, Sexta edición. México. pp 38.

- HERRERA R. 2012. Importancia de cartas de control en una empresa alimentaria. México D.F, s/p.
- HUERGA 2016. Control estadístico de calidad. México, pp 150-160.
- ISO. Organización Internacional de Normalización. 2003. Orientación sobre técnicas estadísticas para la Norma ISO 9000:2000. N° ISO/TR 10017:2003. Chile. pp 38.
- JURÁN J. 2002. Control de Calidad. Sypal. Bogotá. Colombia. pp 132.
- KELVIS G. 2010. Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad. Barcelona, España. pp 293.
- KUME D. 1992. Gráficos de control de Shewhart. Barcelona, España. pp 10.
- LÓPEZ M, GISBERT V. 2018. Control estadístico de la calidad: una aplicación práctica. 3 Ciencias. Área de Innovación y Desarrollo, S.L. Alicante, España. pp.88.
- MALDONADO, R y GRAZIANI, L. 2007. Utilización de herramientas de calidad para la diagnosis: estudio de un caso en la industria de productos cárnicos. Aragua. Venezuela. INTERCIENCIA 32 (10): 707-711.
- MARCANO C. 2014. Diferentes gráficos de control para la operación de los procesos estadísticos. México, pp 85.
- MARTÍN Z, SUAREZ M. 2010. Control de procesos estadísticos. Revista de Gestión de Producción e Inventario. México, pp 280.
- MARTINEZ J. 2015. Técnicas para las cartas de control en la gestión de la calidad. México., Sexta edición., pp 230.
- MENDEZ M. 1999. Herramientas y técnicas de calidad. Lima, Perú. 25 pp.
- MONTGOMERY, D. 2007. Control estadístico de la calidad. Limusa Wiley. México D.F, México. pp 797.
- MONTGOMERY D. 2009. Introduction to statistical quality control. 6ta ed. WILEY. United States of America. pp. 754.

- MORENO E. 2010. Clasificación de cartas de control en la industria de productos textiles. México, pp 299.
- MOYA G. 2015. Gráficos de control. Guayaquil, Ecuador. pp 75-79.
- MUÑOZ C. 2004. Implementación de un sistema de control estadístico en los procesos de una industria alimenticia. San Carlos, Guatemala. pp 337.
- NARANJO R. 2016. Pasos para la construcción de diferentes gráficos de control. Industria pesquera. Monterrey, México, pp 335-350.
- PÉREZ P. 2010. Construcción de cartas de control estadístico. México, pp 45-70.
- PINEDA G. 2009. Sistema de gestión de calidad para el proceso de empaque de Chorizo Español, Parrillero y Campeño en la planta de cárnicos de Zamorano. Administración de Agronegocios, Escuela Agrícola Panamericana. [Disertación Grado Ingeniera en Administración de Agronegocios en el Grado Académico de Licenciatura]. Zamorano, Honduras. pp. 55.
- PONSATI E, CANELA M. 2002. Gestión de la calidad. Ed. UPC. Barcelona, España. pp 230.
- PRAT A. 2004. Métodos estadísticos, control y mejora de calidad para gráficos Shewart, CUSUM y EWMA. México, España. pp 269-270.
- RUÍZ A. 2017. Gráficos de control estadístico para el Sistema de Gestión de la Calidad. España, pp 520.
- SABINO C. 1996. El proceso de Investigación. Caracas. pp 75-77.
- SAMPIERI R. 2000. Metodología de la Investigación. D.F, México. 19 pp.
- SENATI. Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial. 2015. Herramientas de calidad total. 3ra. Ed. SENATI. Lima, Perú. pp 30.
- SINGH E, PARMAR M, KAUR H, MEHRA R. 2016. SPC (Statistical Process Control): A Quality Control Technique for Confirmation to Ability of process. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 3 (6): 666-672.

SOSA, D. 2003. Manual de calidad total: Calidad total para operarios. Limusa Noriega editores. México, D. F. México. 281p.

VERA R. 2016. Gráficos de control y sus procesos. Colombia, pp 20-50.

YOGI K. 2017. Assessment of Process Capability: the case of Soft Drinks. Processing Unit. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 330: 1-20.

ZAMORA P. 2012. Diagnóstico del proceso de envasado aséptico de leche esterilizada UHT de la Procesadora Agroindustrial de Oriente (PASTOR, C.A.). Universidad de Oriente, Escuela de Zootecnia, Departamento de Tecnología de Alimentos. [Disertación Grado de Licenciada en Tecnología de Alimentos]. pp 91.

ZURITA Z. 2009. Gráficos de control de Shewhart. México, pp 382-385.

HOJA DE METADATOS

HOJA DE METADATOS PARA TESIS Y TRABAJOS DE ASCENSO - 1/6

Título	Gráficos de control en la industria alimentaria
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Hernández Azócar Víctor Javier	CVLAC	C.I. 25265594
	e-mail	vic.j.hernan.a@gmail.com
Jaramillo Marcano Karelis del Carmen	CVLAC	C.I. 20140008
	e-mail	Karecjm23@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

gráficos de control
calidad
industria alimentaria
herramientas básicas
Curso especial de grado

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Tecnología de Alimentos

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

RESUMEN

Las gráficas de control (GC) se han constituido en una herramienta fundamental de control estadístico del proceso, ya que compara la información basada de muestras representativas del estado actual de las características de calidad frente a límites establecidos y especificaciones técnicas, evaluando si dicha característica de calidad del proceso productivo se encuentra o no “bajo control estadístico” y si el proceso es capaz de satisfacer las especificaciones técnicas de la compañía y del cliente. Es un diagrama que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para asegurar que se mantenga en esa condición, con éste se controla el desarrollo de los procesos de producción y características de calidad. El objetivo del presente trabajo de tipo documental consistió en dar a conocer la importancia de los gráficos de control en la industria alimentaria. Para ello, se recolectó la información a través de técnicas como la consulta de diferentes fuentes bibliográficas (libros, normas, trabajos de grado, páginas web) y se vació la misma en libretas de notas y computadoras. En tal sentido, los gráficos de control constituyen una de las herramientas básicas de calidad que se utilizan para evaluar el comportamiento de un proceso y están constituidos por límites de control (superior, central e inferior), subgrupo y la medida de la característica de calidad a ser evaluada. Existen normas COVENIN que contemplan información relacionada con los GC lo que indica que la industria venezolana cuenta con leyes para controlar los procesos y evaluar la calidad de sus productos. Los GC se distinguen entre gráficos por variables, atributos, multivariantes, CUSUM y EWMA, entre otros y los pasos para su construcción dependerán de la variable que se desee medir y del tipo de gráfico seleccionado para esto. Los casos de aplicación de gráficos de control en la industria alimentaria arrojaron información de procesos bajo control y fuera de control en los procesos de fabricación de hojuelas de maíz, atún enlatado, café en polvo, entre otros. Esto permite inferir que esta herramienta estadística es vital para diagnosticar el funcionamiento del proceso, monitorear la variabilidad, identificar las causas de variación y emplear acciones correctivas inmediatas para controlar estas desviaciones que afectan la calidad del producto final. Esto resulta beneficioso para toda empresa de alimentos porque ayuda a reducir costos y a incrementar la productividad.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Prof. Longart Mary	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 4502463
	e-mail	mlongart.udomonagas@gmail.com
Prof. Ana Yndira Ramos	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 10308657
	e-mail	ay2170@gmail.com
Prof. Liendo Meylan	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 12152196
	e-mail	mliendo.udomonagas@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2020	11	05

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para inglés en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOKCTG_HAVJ.JMKD2020

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Tecnología de Alimentos

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc.

Nivel Asociado con el trabajo: Licenciatura

Dato requerido. Ej.: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI- 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Ragely*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Cunele
JUAN A. BOLANOS CUNELE
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009):

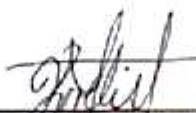
"Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



Hernández Azócar Víctor Javier

C.I. 25.265.594

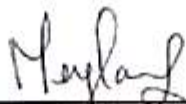
AUTOR



Jaramillo Marcano Karelis del Carmen

C.I. 20.140.008

AUTOR



Profa. Meylan Liendo

TUTOR