

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
“MAGISTER EN GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD
Y LA CALIDAD”**

TEMA

**Diseño De Un Sistema De Control Estadístico De La Calidad
En Tiempo Real al Proceso De Dosificación De Aditivos
Líquidos En Una Empresa De Alimentos Balanceados**

AUTOR

Bismar David Bermeo Nieves

Guayaquil – Ecuador

**AÑO
2015**

DEDICATORIA

A Dios porque siempre tiene cosas buenas para mí.

A mis hijos, Bismarck, Jaziel y Valentina que junto a mi esposa, son la razón de mi búsqueda de superación.

A mis padres, que con sus sacrificios, humildad y amor me han guiado hasta este momento.

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios, por darme la oportunidad de ser mejor cada día, a mi familia, por el apoyo incondicional y el sacrificio de mi ausencia.

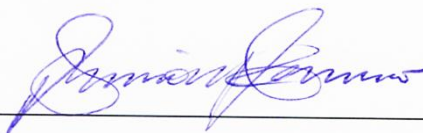
A los profesores, que han sabido ampliar mis conocimientos y afectar positivamente mi perspectiva como profesional.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este proyecto.

Al Ing. Alex Moreno por su paciencia y compromiso con este proyecto.

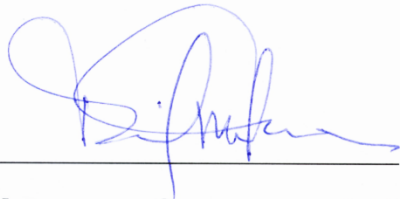
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente, el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

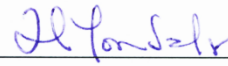


Econ. Bismar David Bermeo Nieves

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



David Matamoros Camposano, P.hD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Master Alex Moreno Salazar
DIRECTOR DE LA TESIS



Sandra García Bustos, P.hD.
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTOR DEL PROYECTO



Econ. Bismar David Bermeo Nieves

CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCION.....	xi
CAPITULO I.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS GENERALES.....	4
1.4. MARCO TEORICO	6
1.4.1. MEDIDAS DESCRIPTIVAS	6
1.4.2. CONCEPTOS DE LA CALIDAD	7
1.4.3. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO (CEP).....	8
1.4.4. CARTAS DE CONTROL.....	16
1.4.5. SEIS SIGMA (6σ).....	18
1.4.6. SISTEMAS DE CALIDAD ISO: 9001:2008	20
CAPITULO II.....	22
2.1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL.....	22
2.1.1. ADITIVOS LÍQUIDOS	22
2.1.2. ACEITES	23
2.2. ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES.....	25
2.2.1. ANÁLISIS DE CAPACIDAD.....	25
2.2.2. PRUEBA DE NORMALIDAD	26
2.2.3. GRÁFICA PARA PARA MEDIA Y RANGOS.....	28
2.3. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ	29
2.4. ESTABLECIENDO OBJETIVOS DE CALIDAD.....	30
CAPITULO III.....	33
3.1. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION	33
3.2. MEJORA DEL PROCESO DE DOSIFICACION.....	34
3.2.1. EQUIPO SELECCIONADO	34
3.2.2. PARTES DE LA PANTALLA DEL INDICADOR.....	34
3.2.3. DESCRIPCIÓN Y MANEJO DE EQUIPO DE PESADO	35

3.3.	PARÁMETROS PARA INICIAR UN PROCESO.....	36
3.4.	RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO	39
3.5.	VALIDACIÓN DE DATOS LUEGO DE IMPLEMENTACIÓN.....	40
CAPITULO IV	44
4.1.	CONSTRUCCIÓN DE LAS CARTAS DE CONTROL.....	44
4.1.1.	PRUEBA DE NORMALIDAD DE NUEVOS DATOS	44
4.1.2.	CARTA DE CONTROL PARA MEDIAS \bar{X}	45
4.1.3.	CARTA DE CONTROL PARA RANGOS (R)	47
4.1.4.	CARTA DE CONTROL SUMA ACUMULADA (CUSUM)	50
4.1.5.	LA CARTA DE CONTROL DE PROMEDIO MÓVIL PONDERADO EXPONENCIALMENTE (EWMA).....	54
4.2.	VALIDACIÓN DE CARTAS DE CONTROL	57
4.3.	DESARROLLO DE LA PROGRAMA INFORMÁTICO	59
4.3.1.	OBJETIVOS.....	59
4.3.2.	PLATAFORMA UTILIZADA.....	60
4.3.3.	VERSIÓN PRELIMINAR DEL SOFTWARE.....	60
4.3.4.	DESCRIPCIÓN DE APLICACIÓN DE CAPTURA DE DATOS	61
4.4.	CONSTRUCCIÓN DE HISTOGRAMA	62
4.5.	PROGRAMACIÓN DE CARTAS DE CONTROL.....	63
4.5.1.	MEDIAS Y RANGOS.....	65
4.5.2.	CUSUM Y EWMA	65
4.6.	OPCIONES DE ENVÍO DE ALERTA VIA CORREO	66
4.6.1.	ENVÍO DE ALERTA VÍA CORREO ELECTRÓNICO.....	68
4.7.	CIERRE DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA.	71
	CONCLUSIONES.....	72
	RECOMENDACIONES.....	74
	A N E X O S.....	75
	ANEXO #1	76
	ANEXO #2	77
	ANEXO #3	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: La variabilidad en el tiempo.....	9
Ilustración 2: Proceso.....	10
Ilustración 3: Ejemplo de tabla de frecuencias.....	10
Ilustración 4: Histograma.....	11
Ilustración 5: Diagrama de Ishikawa.....	15
Ilustración 6: Ejemplo de carta de control generada con Minitab.....	17
Ilustración 7: Dosificación Actual de Aditivos Líquidos.....	22
Ilustración 8: Esquema de dosificación Actual de Aceite.....	23
Ilustración 9: Análisis de capacidad.....	26
Ilustración 10: Gráfica de probabilidades de dosificación aceite.....	27
Ilustración 11: Gráfica de Medias y Rangos de las dosificaciones de aceite (Minitab).....	28
Ilustración 12: Análisis de causa y efecto de variación en dosificación de líquidos.....	30
Ilustración 13 : Esquema general de dosificación propuesto.....	33
Ilustración 14: Diseño de la pantalla del indicador.....	34
Ilustración 15: Opciones del Operador.....	35
Ilustración 16: Pantalla del indicador con sus partes.....	35
Ilustración 17: Tanque balanza.....	36
Ilustración 18: Gráfica de control para media por etapas.....	40
Ilustración 19: Análisis de capacidad luego de implementación.....	41
Ilustración 20: Grafica de control para medias con subgrupo n=5.....	42
Ilustración 21: Prueba de normalidad.....	44
Ilustración 22: Carta control Xbarra (Excel).....	47
Ilustración 23: Carta control para rangos (Excel).....	48
Ilustración 24: Carta de control CUSUM (Excel).....	53
Ilustración 25: Carta de control EWMA (Excel).....	55
Ilustración 26: Cartas de Control de Medias y Rangos (Minitab).....	57
Ilustración 27: Carta de control CUSUM (Minitab).....	58
Ilustración 28: Carta de control EWMA (Minitab).....	58
Ilustración 29: Pantalla de Software de enlace y análisis estadístico.....	61
Ilustración 30: Histograma.....	63
Ilustración 31: Software CEP en tiempo real.....	64
Ilustración 32: Software CEP en tiempo real (CUSUM).....	65
Ilustración 33: Software CEP en tiempo real (EWMA).....	66
Ilustración 34: Opciones de configuración de envío de correo.....	67
Ilustración 35: Correo electrónico de alerta generada por carta CUSUM.....	68
Ilustración 36: Correo electrónico de Alerta generada por carta EWMA.....	69
Ilustración 37: Informe gráfico del correo electrónico CUSUM y EWMA.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Valores del Cp y su Interpretación	13
Tabla 2: Formato de archivo .xls de Consumo de items en proceso de dosificación.	24
Tabla 3: Dosificaciones de Aditivos Líquidos, medias y rangos.	45
Tabla 4: Desempeño de CUSUM tabular con $k = 0.05$ y $h = 5$	51
Tabla 5: Carta de control CUSUM para dosificaciones de Aditivos Líquidos	52
Tabla 6: Carta de control EWMA para dosificaciones de Aditivos Líquidos	56
Tabla 7: Tabla de Frecuencia.....	62

INTRODUCCION

Estar a cargo de un proceso productivo como gerente de producción o jefe de operaciones, puede resultar una tarea muy laboriosa y hasta en ciertos casos se podría volver una tarea muy difícil si no se cuenta con los equipos y controles adecuados en cada uno de los procesos por los que un producto debe someterse hasta convertirse en un producto terminado, manteniendo los niveles de re-procesos o productos no conformes relativamente bajos.

Muchas de las empresas realizan fuertes inversiones de dinero en tecnología para automatizar su producción, mejorar sus procesos, agilizarlos u obtener mejor rentabilidad, dada la velocidad con la que se dan los avances tecnológicos, los proveedores de equipos industriales ofrecen la panacea de la productividad en sus productos, para asegurar esto deben incluir controles que permitan evaluar todos los aspectos del funcionamiento de sus equipos.

La falta de conocimientos en temas de calidad de las personas que tienen contacto directo con los procesos productivos, que en la mayoría de los casos en nuestro medio son operadores con poca instrucción y deficiencia en la comunicación, pudiendo ocasionar pérdidas tanto económicas, de calidad y productividad a causa de no validar los resultados y confiar 100% en los equipos o en su defecto no saber interpretar las alertas.

Las organizaciones que implementan sistemas de gestión de la calidad buscan estandarizar sus procesos para minimizar el riesgo de pérdida de la calidad, dado que estos sistemas de gestión de calidad dan los lineamientos que las empresas deben adoptar al momento de obtener, registrar, analizar la información de sus procesos para poder tomar decisiones adecuadas sobre acciones de mejora o corrección.

Una forma adecuada de controlar un sistema productivo sería la implementación de cartas de control donde cada una de las variables que intervienen en dicho proceso muestren su comportamiento, apoyándose en las demás herramientas de control estadístico de procesos, definiendo sus respectivos niveles óptimos y las alarmas que deban producirse en los casos que no se cumplan los objetivos esperados en cada proceso o no se cumplan los requisitos del producto causando defectos y pérdida de la calidad.

En el siguiente trabajo se mostrará cómo obtener lo antes mencionado en un sistema de dosificación de líquidos que forma parte del proceso de formulación para la preparación de alimento balanceado:

- Esta dosificación será llevada a cabo por un equipo de automatización industrial de pesaje, el cual manejará un tanque balanza.
- El equipo debe enviar la información de las dosificaciones a una aplicación informática que se ejecutará en un computador.
- Dichos datos serán almacenados en una base de datos.
- La información deberá ser analizada en tiempo real mediante cartas de control, y.
- Enviará un correo electrónico con las gráficas de control a los responsables de dicho proceso cuando los datos estén fuera de los límites de control o especificación.

Esto simplificará el procesamiento y entrega de los datos que convertidos en información estadística en tiempo real que nos permitirá, tener una base adecuada para la toma de decisiones en base a datos, control del registro de los datos de dicho proceso, realizar acciones de mejora y el monitoreo de las mismas, eliminando riesgo de la manipulación del factor humano tanto en la toma de datos, digitación, análisis y presentación de los resultados cumpliendo con varios requisitos de la norma ISO 9001:2008.

CAPITULO I

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La empresa ABC, se dedica a la elaboración de alimentos balanceados para animales de granja, tiene en su planta de producción muchos procesos que a su vez se dividen en varios subprocesos, todos muy importantes, el análisis se centrará en el subproceso de dosificación de aditivos líquidos, que es parte del proceso de preparación del lote que se va a mezclar para obtener el alimento balanceado, esto corresponde a una formulación que puede estar definida por varios factores como:

- Un requerimiento específico del cliente.
- El tipo de animal.
- Edad.
- Estado del animal (Crecimiento, engorde, etc.)

Para obtener el alimento ideal previamente la empresa ha realizado los estudios correspondientes y preparará la fórmula con los elementos y las correspondientes cantidades a dosificar, estos elementos se dividen según lo crea conveniente la empresa y pueden ser:

- Macros.
- Medios.
- Micros.
- Aceites y Aditivos líquidos.

Los elementos pueden ser dosificados en varias etapas, para ciertas etapas que requieren una alta precisión algunas organizaciones contratan empresas especializadas en productos premezclados por lo difícil que puede ser el manejo y control de los micro-elementos.

El aceite puede ser de pescado, palma, cualquier otro o la combinación de ellos, su dosificación se la realiza mediante un tanque balanza que envía la información de las dosificaciones a la balanza de macros, uno de los problemas es que en la actualidad se están presentando diferencias entre lo dosificado a la mezcladora y los inventarios de aceite (esta diferencia es de alrededor de 1 tonelada al mes).

El alimento balanceado debe cumplir también ciertos parámetros que los estipula el INEN en varios aspectos, siendo uno de estos la humedad permitida en el producto terminado que tiene un rango que se debe cumplir, lo que tiene relación con las normas ISO 9001:2008 que indica:

“7.2.1 Determinación de los requisitos legales relacionados con el producto.

c) Los requisitos legales y reglamentarios aplicados al producto.”

Con respecto a los aditivos líquidos, no hay evidencia del proceso en registros de manera que no se pueden determinar con exactitud las cantidades de aditivos líquidos dosificadas. Debido a que estos son un complemento de la mezcla, existe un factor importante para definir la cantidad requerida, esta debe corresponder al nivel de humedad con la que los demás elementos de la fórmula entran a la mezcladora.

Lo antes expuesto nos muestra que el proceso de dosificación de aditivos líquidos podría causar serios problemas de calidad, por: ausencia, dosificación deficiente o problemas legales si se sobrepasan los niveles tolerables de humedad del producto terminado.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa desea mejorar el proceso de dosificación de aditivos líquidos y la

dosificación de aceite además del orden del ingreso a la mezcladora, ya que debe ser primero los aditivos líquidos y luego los aceites, de otra manera afectará la mezcla y por ende afectará a la calidad del producto. En la actualidad esto lo hace el operador, se necesita automatizar esta secuencia para minimizar el riesgo de un error humano.

En la actualidad se puede dosificar solo 10, 20, 30, etc. litros de agua (de 10 en 10lt). Por ejemplo, no se puede dosificar 15lt. Debido a que todos los elementos de la fórmula que entran a la mezcladora están expresados en kilos, el departamento de producción debe poder determinar la cantidad de aditivos líquidos que serán incluidos en la fórmula en kilos (de 1 a 100 kilos), lo que no se cumpliría con el tipo de dosificación actual, además se necesita registrar las cantidades de aditivos líquidos incluidos en la mezcladora y que este proceso se ejecute de forma automática.

Este cambio, en la manera de formular los aditivos líquidos nace a partir de que, en el Departamento de Control de Gestión al realizar los respectivos análisis de la producción encontró que el producto terminado tenía un 6% de humedad en promedio. El máximo permitido en cierto tipo de productos es de 12%, pasado este tope se incumple requisitos legales.

De manera que existe una brecha en la humedad que se debe cubrir de 6% a 12%, esto implica un incremento en el peso lo que repercute en más sacos producidos, un incremento de la productividad obteniendo un beneficio económico dado que las empresas de esta industria producen entre 5 y 10 millones de sacos al año.

Otra justificación económica y de calidad nos indican (V.Parrales-J.Tamayo, 2012) en su trabajo de "Diseño de un modelo de Gestión Estratégico para el mejoramiento de la Productividad y Calidad Aplicado a una Planta de

Alimentos Balanceados”.

“En esta etapa del proceso es importante controlar la humedad de la mezcla, el valor esperado es de 12% de humedad en promedio. Aquí se establece un $\pm 1\%$ al promedio esperado, dado que, si excede a 13% en humedad, al producto se le va a propagar una colonia de bacterias; asimismo, si la humedad es inferior a 11%, se estaría perdiendo peso en el producto (muy seco) lo que originaría un incremento en el costo unitario del producto”.

1.3. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo del presente trabajo es garantizar el proceso de dosificación de aditivos líquidos mediante un sistema de control estadístico de proceso que considere:

- Desarrollo de un sistema que permita administrar las cantidades a dosificar.
- Mantener una variación menor al 1.5% en cada dosificación.
- Captura automatizada de los datos de las dosificaciones de aditivos.
- Realizar el análisis por cada lote de proceso mediante cartas de control.
- Emitir las alertas cuando el proceso se encuentre fuera de control estadístico mediante el envío de correos electrónicos que incluyan las gráficas de control.
- Simplificar la entrega de la información en un formato adecuado a las personas indicadas de una manera tabulada y gráfica, que sirva como base para toma de decisiones y poder realizar los análisis necesarios para encontrar los parámetros óptimos de calibración del sistema de dosificación de aditivos.
- Disminuir la brecha de humedad que es de un 6%.

Para lograr los objetivos planteados se busca implementar un sistema de dosificación automatizado que permita asegurar la precisión de la cantidad dosificada de aditivos líquidos en cada lote, que permita reducir las diferencias en inventario de aceite que mantiene constantemente la empresa, además se requiere tener evidencia de las cantidades incluidas en la mezcladora en cada lote, mediante la integración de un módulo de control de calidad automatizado, con la utilización de un software o programa informático que cumplirá tres funciones:

- 1.- Almacenar la información en una base de datos en tiempo real.
- 2.- Permitir la validación y control de este proceso mediante de cartas de control en tiempo real.
- 3.- Emitir alertas dinámicas en los distintos niveles jerárquicos.

Cumpliendo con lo anterior se simplificará la entrega de la información en un formato adecuado a las personas indicadas de una manera óptima y que sirva como base para toma de decisiones.

Adicionalmente con esta información encontrar los parámetros óptimos y ajuste al nuevo sistema de dosificación de aditivos líquidos y aceites.

Para cumplir con este objetivo se menciona las bases sobre las que se apoya este trabajo que son:

- Control estadístico de proceso.
- Metodología seis sigma.
- Integración con herramientas de desarrollo, base de datos y manejo de comunicaciones de redes industriales.
- Normas de gestión de la calidad ISO 9001:2008.

1.4. MARCO TEORICO

1.4.1. MEDIDAS DESCRIPTIVAS

MEDIDAS DE POSICIÓN O TENDENCIA

Muestra: Se denomina así a un conjunto de datos de una población.

Media Muestral: Si tenemos X_1, X_2, \dots, X_n datos u observaciones de una muestra, se llama media o promedio muestral de los mismos a su media aritmética, es la medida más importante de tendencia central.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Rango: Es la diferencia del valor mayor y menor de una muestra.

Varianza: Es la suma del cuadrado de la desviación de cada observación del promedio muestral, dividida por el tamaño de la muestra menos uno.

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

Desviación típica o estándar: Dado que la varianza muestral S^2 son el cuadrado de las unidades originales de los datos, esto resulta inconveniente para la interpretación, por lo que se prefiere usar la raíz cuadrada de S^2 como medida de la variabilidad.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (3)$$

1.4.2. CONCEPTOS DE LA CALIDAD

La calidad es el juicio que se tiene acerca de un producto o servicio, y el grado en que este cumple con las características propias del mismo. Las características de los productos pueden ser:

- Organolépticas, es decir, perciben mediante los sentidos.
- Variables que se pueden medir y cuantificar.

Para poder determinar si un producto cumple o no una característica que se pueda medir, se debe determinar una medida o un rango de aceptación, estableciendo para esto los límites de tolerancia. Cuando una característica no se cumple, es decir, supera los límites de aceptación, genera un producto no conforme o defecto.

WILLIAM EDWARDS DEMING

Deming afirmaba que todos los procesos son variables, y que ha menor variabilidad del proceso mayor es la calidad del mismo. La mayor contribución de Deming a los procesos de Calidad en Japón es el control estadístico de procesos, que es un lenguaje matemático con el cual los administradores y operadores pueden entender “lo que las máquinas dicen” [8].

EL CICLO DE SHEWART

Es una técnica desarrollada por W. A. Shewhart entre 1930 y 1940 para organizar el trabajo y seguimiento de proyectos de cualquier tipo. En 1950 E. Deming la toma y la difunde como una alternativa para encarar los proyectos de acción o mejora sobre los procesos propios, externos o internos (por tal motivo en Japón lo llaman “Ciclo Deming”) [9].

Este es un método que consiste en 4 pasos definidos que son: P = Plan

(Planificar); D = Do (Hacer); C = Check (Chequear, Verificar) y A = Action (Actuar, Accionar), esta metodología es muy aplicada en análisis de mejora continua de procesos.

1.4.3. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO (CEP).

Para el desarrollo de este trabajo usaremos varias técnicas estadísticas que usadas en su conjunto, corresponden al Control Estadístico de Procesos, herramientas que se emplean para poder determinar si el resultado de un producto o proceso concuerda con las especificaciones predefinidas, saber si el proceso tiene la capacidad de cumplir las especificaciones y determinar si existen desviaciones de las especificaciones de diseño.

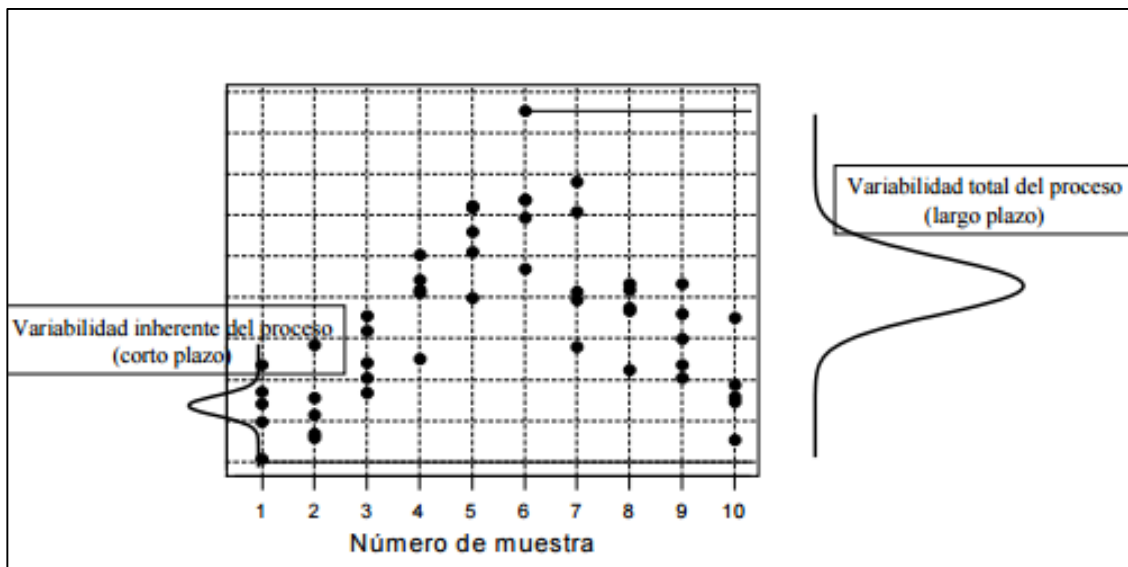
El control estadístico de proceso suele aplicarse para la presentación de informes acerca de cambios introducidos a los procesos, y que efecto han producido en los mismos, en nuestro caso usaremos el CEP medir el estado actual del proceso para luego medir el efecto producido por cambios propuestos, y como parte final, la implementación de cartas de control para predecir cambios en el proceso antes que sucedan o en el peor de los casos saber justo en el momento en que exista pérdida de control[2].

VARIABILIDAD

“La variabilidad de un proceso, puede deberse a causas aleatorias y a causas asignables. Las causas aleatorias o comunes corresponden al efecto acumulado de muchas causas inevitables y pequeñas; se originan por la variabilidad de la materia prima, maquinaria distinta, diferente eficacia de la mano de obra; ellas definen un sistema estable de causas de variabilidad. Si un proceso opera únicamente con causas aleatorias de variación, entonces él está bajo control estadístico, por ser estas causas parte inherente del proceso” (Montgomery, 2004).

En la ilustración 1, podemos ver como el conjunto de datos de cada una de las muestras puede ir experimentando diversos niveles de variabilidad, a esta se la denomina variabilidad de corto plazo, y la suma de la variabilidad de todas las muestras forman la variabilidad de largo plazo.

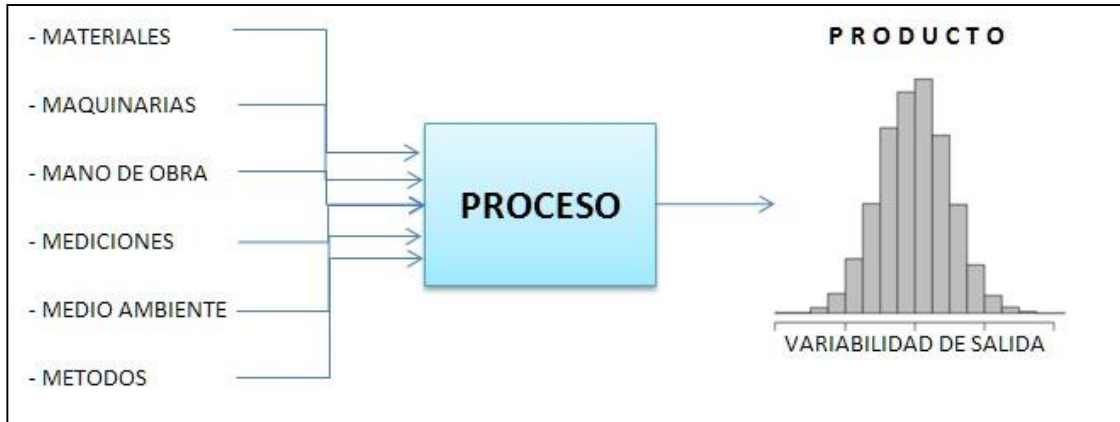
Ilustración 1: La variabilidad en el tiempo



Fuente: Control Estadístico De Procesos - Arturo Ruiz-Falcó Rojas (2006)

Disminuir la variabilidad en los procesos es el objetivo principal del control estadístico de procesos así como de la metodología seis sigma (de la que nos referiremos más adelante en este capítulo), de modo que es necesario entender que factores causan la variabilidad en los procesos[1], esta variación puede ser atribuir a cada uno de los elementos que interactúan en un proceso productivo como muestra la ilustración 2.

Ilustración 2: Proceso



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

TABLA DE FRECUENCIAS

Es la forma tabulada de presentar la manera en que se distribuyen un conjunto de datos, estos datos se clasifican según su magnitud en una cantidad de clases, estas clases deben ser de 6 a 20 y para realizar esta tabla es recomendable usar 100 observaciones o más.

Ilustración 3: Ejemplo de tabla de frecuencias

CLASE	PESO kg.	FRECUENCIA	MARCAS PARA CONTEOS	%
4	9.40	1	x	1%
5	9.50	4	x x x x	4%
6	9.60	5	x x x x x	5%
7	9.70	11	x x x x x x x x x x x	12%
8	9.80	16	x x x x x x x x x x x x x x x	17%
9	9.90	16	x x x x x x x x x x x x x x x	17%
10	10.00	20	x x x x x x x x x x x x x x x x x x	21%
11	10.10	15	x x x x x x x x x x x x x x x	16%
12	10.20	4	x x x x	4%
13	10.30	2	x x	2%
14	10.40	1	x	1%

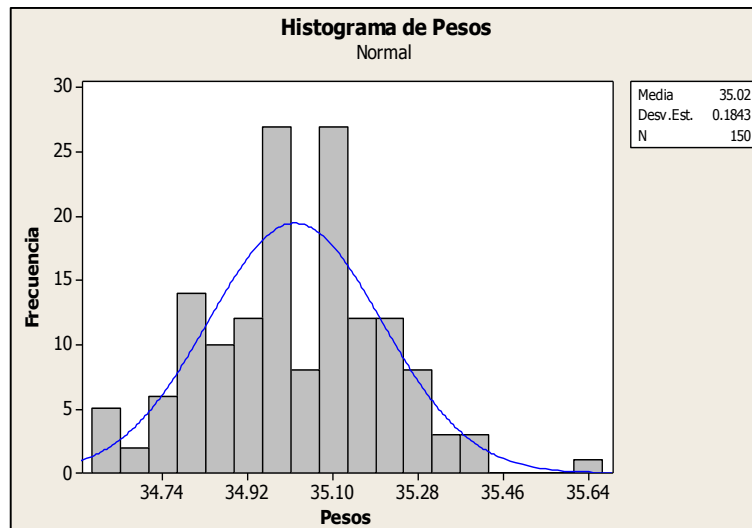
Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

HISTOGRAMA

Es la forma gráfica de presentar una tabla de frecuencias.

Ilustración 4: Histograma



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

ANÁLISIS DE CAPACIDAD

Es el grado en que un proceso tiene la capacidad de cumplir de manera adecuada las especificaciones que tiene un producto o servicio en su diseño, estas especificaciones de diseño a menudo están expresadas como un valor nominal objetivo con una tolerancia aceptable por encima o por debajo del valor esperado.

Las técnicas de control estadístico de procesos ayudan a los gerentes a realizar y mantener una distribución de procesos que no cambia en lo que se refiere su media y su varianza. Los límites de control señalan cuándo cambia la media o la variabilidad del proceso. Sin embargo, un proceso que se encuentra bajo control estadístico no siempre genera productos o servicios de acuerdo con sus respectivas especificaciones de diseño. [2]

Para determinar la capacidad de un proceso se necesita conocer o estimar la media de los datos (μ), la desviación estándar (**S**) y los límites de especificación $\mu \pm 3S$. Dado que a **3S** hacia ambos lados de la media son **6S**, que en una distribución normal corresponde al 99.73% los datos.

Si los valores de **3S** se encuentran dentro de los límites de tolerancia o especificación se puede determinar que el proceso es capaz de cumplir con su propósito.

ÍNDICES DE CAPACIDAD

Para poder cuantificar la capacidad del proceso en producir los resultados esperados se debe calcular el índice C_p (Capacidad potencial) que resulta de la diferencia entre el límite de especificación superior (USL) y el límite de especificación Inferior (LSL) dividido para 6 desviaciones.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4)$$

(4) Regularmente no se cuenta con SIGMA se utiliza **S** como su estimador. Ya que el proceso tiene un límite inferior como superior de especificación, también se pueden calcular índices de capacidad unilaterales C_{pu} y C_{pl} .

$$C_{pu} = \frac{USL - u}{3\sigma} \quad (5)$$

$$C_{pl} = \frac{u - LSL}{3\sigma} \quad (6)$$

Estos índices no muestran aún si el proceso está centrado con respecto a las especificaciones, es decir, que la media del proceso coincida con el valor objetivo, y cuál es la capacidad real del proceso, para esto se calcula un nuevo índice que se obtiene a partir de los anteriores.

$$C_{pk} = \text{mín} (C_{pu} ; C_{pl}) \quad (7)$$

La fórmula 7 nos indica que la capacidad real de un proceso es la capacidad menor entre los índices C_{pu} y C_{pl}

Tabla 1: Valores del C_p y su Interpretación

VALOR C_p	CATEGORÍA	DECISIÓN (Si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase Mundial	Se tiene niveles de 3.4 defectos por millón de oportunidades
$C_p > 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, Requiere un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado. Es necesario un análisis del proceso
$C_p < 0.67$	4	No adecuado. Requiere de modificaciones muy serias

Fuente: Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma - Humberto Gutiérrez Pulido (2009)

INFERENCIA ESTADÍSTICA

Es la manera establecer las características de una población en base a la información contenida en una muestra, esta se divide en estimación y prueba de hipótesis, estas se apoyan en las cantidades o estadísticos calculados de la muestra, los estadísticos o medidas son funciones de los datos que ayudan a caracterizar la distribución de una muestra [1].

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que se puede probar a partir de la información contenida en una muestra.

PRUEBA DE NORMALIDAD

Se utiliza este procedimiento para examinar si los datos provienen o no una distribución normal.

Algunos procedimientos estadísticos, como una prueba **t** o **Z**, presuponen que las muestras provienen de una distribución normal. Para la prueba de normalidad, las hipótesis son:

H_0 : los datos siguen una distribución normal.

H_1 : los datos no siguen una distribución normal.

Se tienen varios estadísticos de prueba, entre ellos Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov, hablaremos brevemente de su interpretación ya que en el desarrollo de los siguientes capítulos realizaremos esta prueba usando el programa estadístico Minitab.

Anderson-Darling

Prueba de hipótesis de una muestra para determinar si la población de la cual se extrajo la muestra es normal. Si el estadístico de prueba supera los valores críticos, la hipótesis de normalidad es rechazada (aceptándose H_1).

Para un nivel de prueba de 5% (95% de confianza), si el estadístico supera 0.632 entonces se acepta H_1 . No siempre es posible calcular el Valor de P, de estar calculado, los criterios anteriores pueden ser interpretados, de manera práctica, si dicho valor supera al nivel de prueba (0.01, 0.05, etc.), se acepta H_0 , los datos siguen una distribución normal.

Kolmogorov-Smirnov

En esta prueba lo más práctico es interpretar el Valor de P, si el valor es mayor al nivel de prueba se acepta la hipótesis H_0 que los datos siguen una

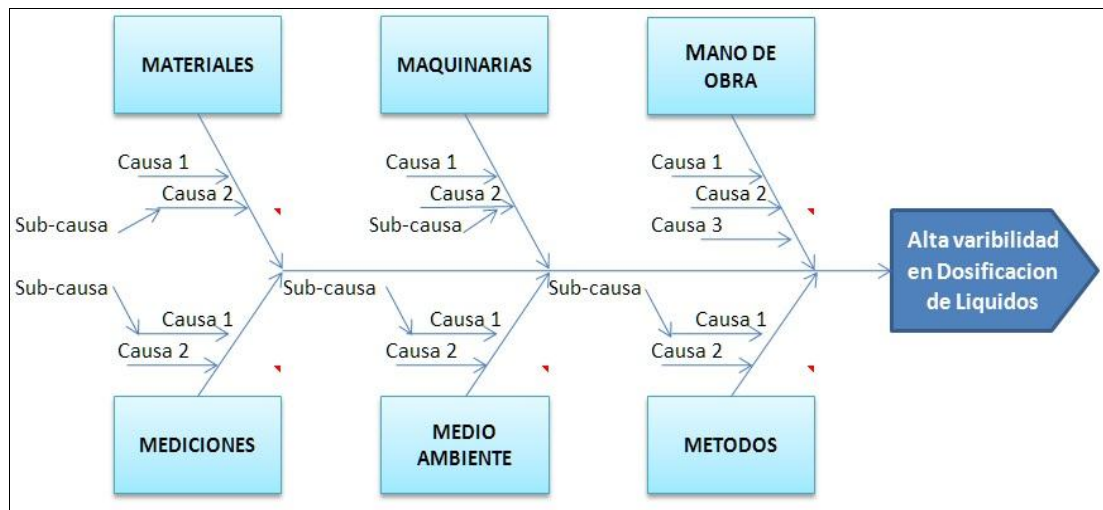
distribución normal (por ejemplo $p > 0.05$ a un nivel de confianza del 95%).

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

El diagrama de causa y efecto, o “espina de pescado” por su forma gráfica fue diseñado por el Ing. Kaoru Ishikawa, se usa para representar gráficamente la relación que tienen entre sí las entradas de un proceso y algún efecto negativo que se desea eliminar.

El análisis de causa y efecto es una herramienta en extremo útil. Un diagrama de causa y efecto muy detallado puede servir como ayuda efectiva para corregir problemas. Además, la elaboración de este diagrama como una experiencia de equipo tiende a comprometer a las personas para atacar un problema de manera efectiva. [3]

Ilustración 5: Diagrama de Ishikawa



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

Para construir este diagrama se debe escribir el defecto o problema a eliminar o reducir, luego empezar a describir las causas y sub causas que intervienen en el proceso según la categoría que le corresponda, como materiales, mano

de obra, métodos, maquinarias, medio ambiente y mediciones, todo esto con el fin de eliminar la causa y no solo los síntomas.

1.4.4. CARTAS DE CONTROL

El objetivo principal de este proyecto es realizar e implementar un control eficiente mediante Cartas de Control, esta es una herramienta de calidad muy efectiva, porque permiten monitorear los procesos y esto posibilita su estandarización, buscar acciones de mejora o detectar defectos del proceso. Una de las ventajas que nos da la implementación de esta herramienta es poder predecir del futuro inmediato según las tendencias que se obtiene de los datos actuales de las variables objeto de estudio.

Además las cartas pueden usarse con variables continuas o con atributos, en conteo por unidades o por lotes, incluyendo por ejemplo cartas de control de proporción de defectuosos. Walter Shewhart propuso las cartas o fichas de control, las cuales hoy han desplazado en gran medida los métodos tradicionales de muestreo sobre el producto final.

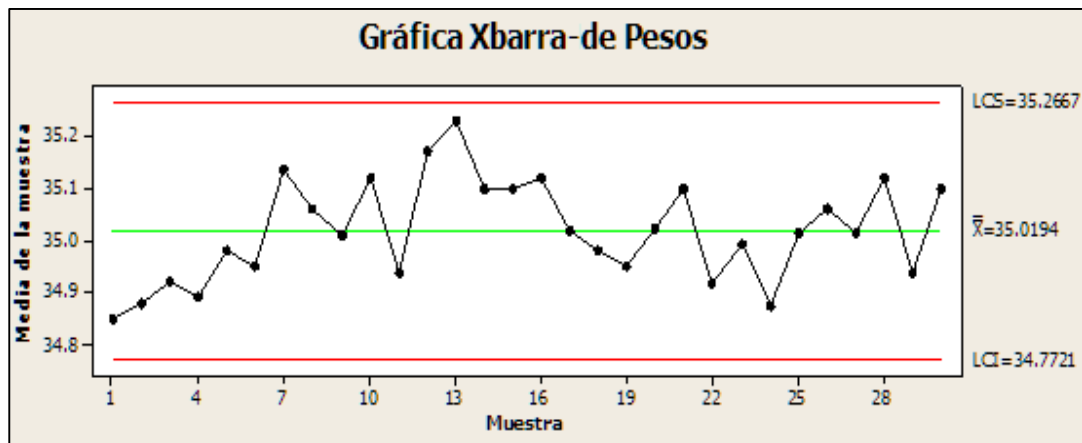
Las Cartas de Control pueden usarse para los siguientes objetivos:

- Verificar si un proceso es estable o está bajo control estadístico.
- Inferir la tendencia futura del proceso.
- Evaluar si un proceso está mejorando o empeorando.
- Mejorar un proceso. [3]

La carta de control se la realiza en un plano de 2 dimensiones que son, verticales (Y) que indica la escala de valores y la horizontal (X) que representa las muestras, como parte principal de la carta de control se dibujan 4 líneas que son:

- Límites de control superior
- Línea central
- Valor nominal de la observación
- Límites de control inferior.

Ilustración 6: Ejemplo de carta de control generada con Minitab



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

CARTA DE CONTROL PARA MEDIAS (Xbarra o \bar{X})

Se la utiliza para monitorear la media el proceso, se requieren una cantidad de muestras N de preferencias más de 30, con subgrupos de tamaño n , y se desea solo inspeccionar una muestra de una población, también se la usa para estimar los parámetros del proceso o producto.

CARTA DE CONTROL PARA RANGOS (R)

Esta carta complementa a la carta de medias, ya que la carta de control de medias evalúa el promedio de las muestras pero no mide la variación de las mismas, esta carta utiliza los mismos datos para obtener el rango (diferencia del valor máximo y mínimo de cada subgrupo), se la usa para controlar y reducir la variabilidad.

CARTA DE CONTROL SUMA ACUMULADA (CUSUM)

Cuando se trata de identificar pequeñas variaciones o corridas en la media, se pueden utilizar como alternativa las cartas de sumas acumuladas (CUSUM), esta incorpora directamente toda la información contenida en la secuencia de los valores muestrales graficando las sumas acumulativas de las desviaciones que presentan los valores muestrales respecto al valor objetivo (Montgomery 2004).

CARTA DE CONTROL DE PROMEDIO MÓVIL PONDERADO EXPONENCIALMENTE (EWMA)

La carta de control EWMA es una alternativa a las cartas de control de Shewhart (Medias y Rangos) cuando lo que se desea monitorear y detectar pequeños corrimientos en la media del proceso. Esta carta de control EWMA es equivalente a la carta de control CUSUM, pero más sencilla de construir.

Las cartas de control sirven como prueba de hipótesis, por ejemplo, se puede concluir que un promedio muestral $\bar{x} = \bar{x}_0$ si los valores de x se encuentra entre los límites de control, de esta manera no hay evidencia para rechazar la hipótesis $\bar{x} = \bar{x}_0$ (Montgomery, 2004), si el valor de las medias supera cualquiera de los límites de control se puede concluir que \bar{x} difiere a \bar{x}_0 . En el capítulo #4 se explicará la construcción de las cartas de control a la par del desarrollo de las cartas requeridas con datos del caso de estudio.

1.4.5. SEIS SIGMA (6 σ)

Una definición muy resumida de Seis Sigma es la siguiente:

“Es una estrategia de mejora continua que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello es posible encontrar y eliminar causas de errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, está

fundamentada en las herramientas y pensamientos estadísticos. La meta de 6 σ , que le da el nombre, es lograr procesos con una calidad Seis Sigma, es decir, que como máximo generen 3.4 defectos por millón de oportunidades” [Humberto Gutierrez-2009].

Esta metodología también conocida como Six-sigma, propone implementar mejora en los procesos siguiendo las cinco etapas (**DMAIC**) que son:

Definir: Se define el problema a resolver, los participantes, recursos, las variables a medir y se proponen objetivos generales.

Medir: En esta etapa se obtienen datos del proceso a mejorar, se realizan las mediciones a las variables definidas (medias, desviación, etc.), se obtiene un estado de la situación actual y se establecen ya los objetivos que se espera conseguir, usando la técnica SMART, es decir que sean e**S**pecíficos, **M**edibles, **A**lcanzables, **R**ealistas y que tengan una medida de **T**iempo.

Analizar: Se realizan ya los análisis del comportamiento de las variables, usando las herramientas tales como: histogramas, análisis de capacidad, análisis por desagregación de datos, diagramas de causa y efecto, etc., de manera que puedan plantearse soluciones a los problemas.

Implementar: Se ejecutan o se llevan a cabo las mejoras o soluciones planteadas previamente y con los primeros resultados de dicha implementación se evalúa mediante análisis estadístico si se produjo el efecto esperado.

Controlar: Una vez obtenido los resultados esperados, se procede a definir los controles mediante los cuales se va a mantener bajo control estadístico el proceso mejorado, la herramienta más adecuada es la implementación de cartas de control, se debe tener bien en claro que se va a controlar y los niveles de tolerancia o sensibilidad en los que esperamos funcione nuestro proceso.

1.4.6. SISTEMAS DE CALIDAD ISO: 9001:2008

Las empresas que validan su sistemas de gestión bajo la norma de calidad ISO:9001 han demostrado que cumplen con lineamientos como demostrar que están enfocados al cliente, definen sus procesos estratégicos y de apoyo, que planifican su producción o entrega de un servicio, documentan o dejan evidencia del resultado de sus procesos, entre otros. A continuación mencionaremos varios literales de esta norma relacionados al presente trabajo.

SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN DE LOS PROCESOS

Nos indica que la organización debe demostrar que utiliza métodos adecuados de medición que permita determinar la capacidad de sus procesos para obtener los resultados planteados, y que acciones deberá emprender en caso de requerir ajustes o correcciones.

SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN DEL PRODUCTO

Esto se lo realiza para asegurar que las características del producto cumplen los requisitos del mismo. Debe llevarse a acabo de ser posible, en todas las etapas del proceso de realización del producto o servicio de acuerdo con lo planificado. Se debe evidenciar la conformidad con criterios de aceptación.

ANÁLISIS DE DATOS

La información generada en la organización en lo que se refiere a sus procesos, deberá ser recopilada y analizada para demostrar la eficacia y si es idóneo el sistema de gestión de la calidad. Esto debe incluir los datos generados del resultado del seguimiento y medición tanto en sus procesos y sus productos. Las características y tendencias de los procesos, y de los productos, incluyendo las oportunidades de llevar a cabo acciones preventivas.

CONTROL DE LOS REGISTROS

Debe existir evidencia a manera de registro de los resultados de los procesos, los registros deben ser almacenados, de fácil recuperación, que puedan ser respaldados y que se encuentren disponibles de una manera legible.

PROGRAMA INFORMÁTICO (SOFTWARE)

Un programa informático es una secuencia de comandos, que tiene una secuencia y lógica definidas para realizar una tarea específica en un computador.

BASE DE DATOS

Son datos relacionados que se encuentran almacenados en archivos o tablas que a su vez se organizan en campos y registros, las bases de datos son manejadas por un motor de base de datos, que no es más que un software desarrollado para este propósito.

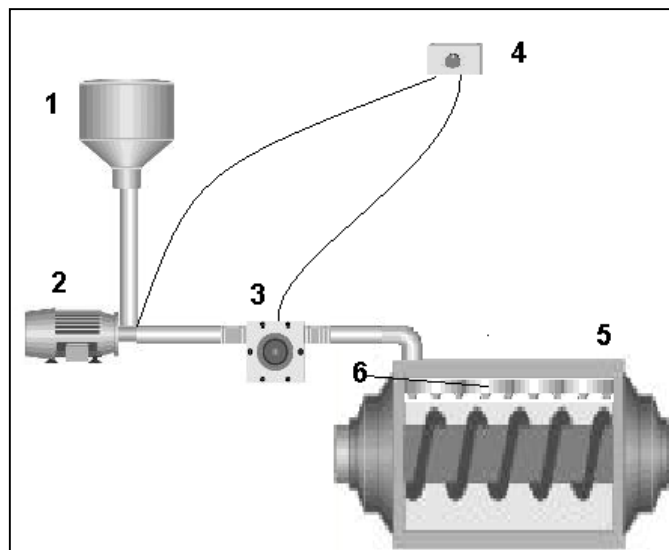
CAPITULO II

2.1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

2.1.1. ADITIVOS LÍQUIDOS

Los aditivos líquidos en la actualidad son inyectados en la mezcladora mediante una bomba y un control de flujo, para ser accionado dicho proceso el operador debe presionar un botón por cada 10 litros de aditivo que especifique la formulación que se esté preparando en la mezcladora.

Ilustración 7: Dosificación Actual de Aditivos Líquidos.



Fuente: Empresa en estudio

Diseño: Bismar Bermeo

- 1.- Tanque de trabajo que almacena el aditivo líquido
- 2.- Bomba
- 3.- Medidor de flujo
- 4.- Caja de control con botón que se encuentra en la consola del operador
- 5.- Mezcladora
- 6.- Flauta para inyectar uniformemente los aditivos

Los aditivos son inyectados mediante una flauta para distribuirlo de manera uniforme, pero de esta acción no hay ninguna evidencia de:

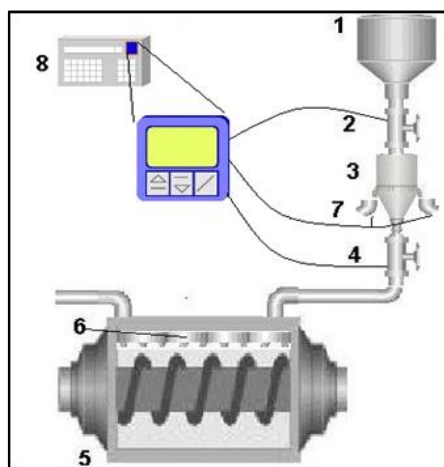
- Que el operador presione por ejemplo 4 veces el botón para incluir 40 litros de aditivo líquido.
- Que en realidad pasen 10 litros de líquido cada vez que el botón es presionado.

Como no se tiene evidencia los resultados de dicho proceso, no se puede hacer un diagnóstico real de la situación actual, lo que se sabe es que se necesita cambiar la dosificación a kilos (que pueden ir de 1 a 99kg.). Actualmente la empresa está realizando una dosificación de 20 litros de agua con lo que se tiene un 6% de humedad en el producto final.

2.1.2. ACEITES

La dosificación de los Aceites se la realiza mediante un tanque balanza que reposa sobre celdas de carga (sensores de peso), las celdas se encuentran conectadas al indicador que controla el peso de los macro elementos, el aceite llena el tanque balanza hasta el parámetro de cierre de la válvula.

Ilustración 8: Esquema de dosificación Actual de Aceite.



Fuente: Empresa en estudio

Diseño: Bismar Bermeo

En la ilustración 8, se puede observar el esquema de dosificación:

1. Tanque de Trabajo
2. Válvula de llenado
3. Tanque balanza
4. Válvula de descarga
5. Mezcladora
6. Flauta inyectora
7. Celdas de carga, sensores de peso
8. Consola del operador con indicador de peso.

Una vez que los productos macros de la fórmula han caído en la mezcladora el operador presiona un botón en la consola para que se accione la válvula de descarga y los aceites entren a la mezcladora por caída libre.

Tabla 2: Formato de archivo .xls de Consumo de items en proceso de dosificación.

Fecha	Hora	Orden	Batch	Cod.Prod.	Producto	Codigo	Cantidad	Meta	Diferencia
29/06/13	2:38:10	99901	1	99999	ENGORDE	MP99	20.00	20.00	0.00
29/06/13	2:38:11	99901	2	99999	ENGORDE	MP99	20.00	20.00	0.00
29/06/13	4:05:45	99901	3	99999	ENGORDE	MP99	20.00	20.00	0.00
29/06/13	4:12:11	99901	4	99999	ENGORDE	MP99	20.10	20.00	0.10
29/06/13	4:21:44	99901	5	99999	ENGORDE	MP99	20.20	20.00	0.20
29/06/13	4:27:51	99901	6	99999	ENGORDE	MP99	20.20	20.00	0.20
29/06/13	4:33:18	99901	7	99999	ENGORDE	MP99	20.30	20.00	0.30
29/06/13	4:38:40	99901	8	99999	ENGORDE	MP99	20.30	20.00	0.30
29/06/13	4:43:43	99901	9	99999	ENGORDE	MP99	20.10	20.00	0.10
29/06/13	4:48:38	99901	10	99999	ENGORDE	MP99	20.30	20.00	0.30
29/06/13	4:53:02	99901	11	99999	ENGORDE	MP99	20.10	20.00	0.10
29/06/13	5:00:19	99901	12	99999	ENGORDE	MP99	20.10	20.00	0.10
29/06/13	5:12:17	99901	13	99999	ENGORDE	MP99	20.20	20.00	0.20
29/06/13	5:17:12	99901	14	99999	ENGORDE	MP99	20.20	20.00	0.20
29/06/13	5:59:44	99901	15	99999	ENGORDE	MP99	20.60	20.00	0.60
29/06/13	6:14:22	99901	16	99999	ENGORDE	MP99	20.60	20.00	0.60
29/06/13	6:18:36	99901	17	99999	ENGORDE	MP99	20.60	20.00	0.60
29/06/13	6:24:30	99901	18	99999	ENGORDE	MP99	20.60	20.00	0.60
29/06/13	6:32:07	99901	19	99999	ENGORDE	MP99	20.70	20.00	0.70
29/06/13	6:38:26	99901	20	99999	ENGORDE	MP99	20.70	20.00	0.70

Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

El indicador actual de los pesos almacena información de las dosificaciones, para luego a fin de mes ser descargada mediante un opción en una memoria flash, luego se descarga esta información en un computador en un formato de archivo de texto, y como paso final abrir el archivo con el programa Microsoft Excel donde es grabado en formato .xls.

La tabla #2 nos muestra un fragmento del archivo de las dosificaciones de aceite. Los códigos han sido cambiados para proteger la información confidencial de la fórmula de la empresa, no así la variación de cada dosificación reportada por el equipo.

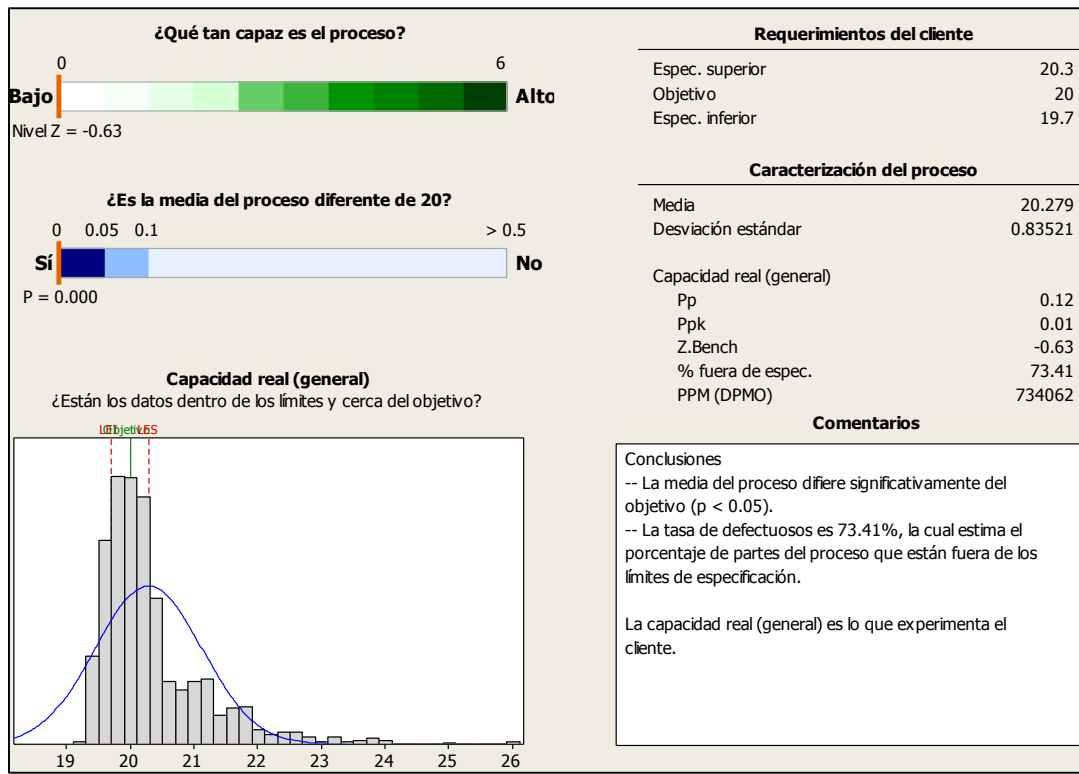
2.2. ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES

Como paso siguiente se procederá a incluir los datos que corresponden al proceso actual, al software de análisis estadístico Minitab, de esta manera se espera establecer el comportamiento actual de la información de las dosificaciones de aceite como información necesaria para evaluar luego el impacto una posible mejora.

2.2.1. ANÁLISIS DE CAPACIDAD

En la ilustración 9, que corresponde al análisis de capacidad los datos indican que la media del proceso difiere significativamente del objetivo, ya que el estadístico de prueba $P=0.000$ es menor a 0.05 (nivel de significancia), adicionalmente se aprecia que el 74.41% de los datos están fuera de las especificaciones que debe cumplir este proceso. El proceso no tiene la capacidad de cumplir con los rangos de tolerancia actual de $\pm 1.5\%$ del valor objetivo.

Ilustración 9: Análisis de capacidad.



Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

El valor de índice de capacidad C_p de 0.12 (P_p en la ilustración 11) sitúa a este proceso en la 4ta. categoría como lo indica la tabla 1, el proceso no es adecuado y que necesita modificaciones serias, justificando aún más la ejecución del presente proyecto.

2.2.2. PRUEBA DE NORMALIDAD

Se realizó una prueba de normalidad Anderson-Darling, en donde el valor del estadístico de prueba P resultó menor al 0.005 como lo muestra la ilustración 10, rechazando la hipótesis de normalidad.

Ilustración 10: Gráfica de probabilidades de dosificación aceite.



Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

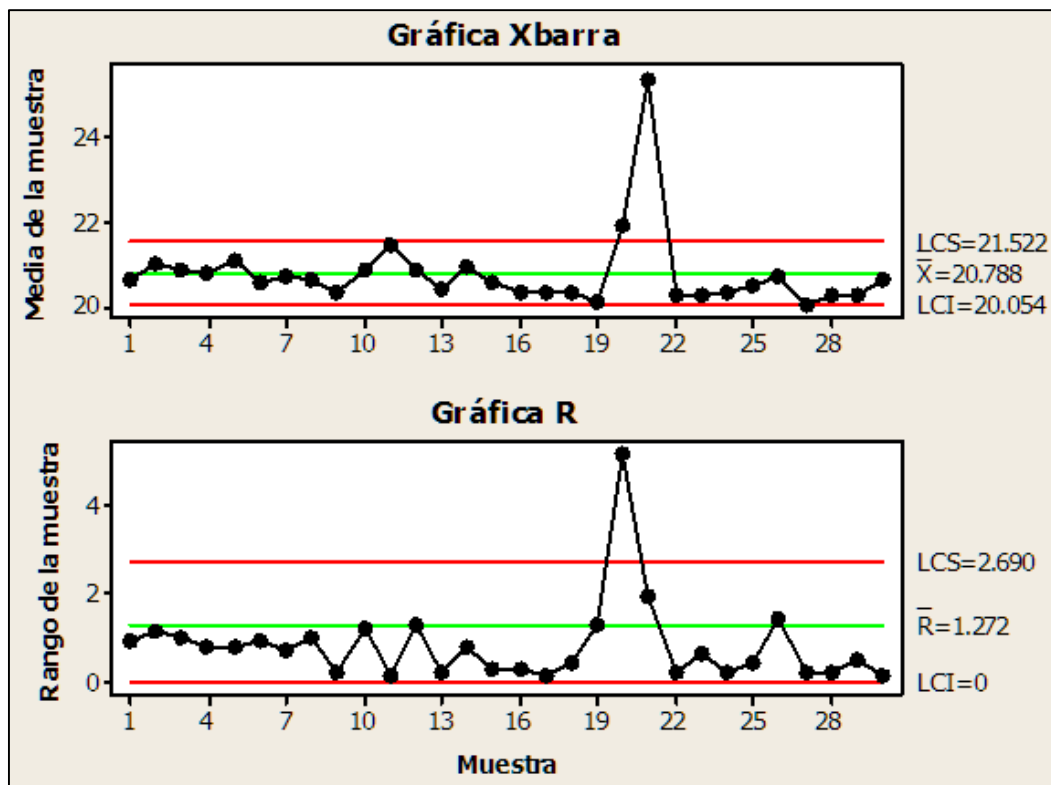
Con una revisión de los resultados de los datos del consumo de aceite del mes de Junio, los cálculos muestran que la media que se encuentra a 280gr. de diferencia de lo esperado que es 20Kg. más del 1.4% de diferencia y con una desviación de 835gr., si los datos siguieran una distribución normal los datos estarían entre 17.775Kg y 22.785Kg. (+-3 σ), que en este caso es un rango con una alta variabilidad.

Es necesario continuar con el análisis y observar el comportamiento del proceso actual mediante la aplicación de graficas de control, para verificar si existan patrones que debamos superar durante la implementación de una posible mejora de este proceso.

2.2.3. GRÁFICA PARA PARA MEDIA Y RANGOS

En las gráficas de control generadas en Minitab con los valores por defecto, se puede observar que existen puntos fuera de los límites de control tanto en la gráfica Xbarra y la gráfica R.

Ilustración 11: Gráfica de Medias y Rangos de las dosificaciones de aceite (Minitab).



Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Si tomamos los resultados de las gráficas de control, se puede inferir mediante la hipótesis de medias, que el valor de las medias de dosificaciones de aceite difiere a su promedio y que el proceso no es estable.

Todo lo anterior expuesto explica las diferencias en los saldos de los inventarios de aceite ya que según los datos analizados se está dosificando 280gr. de aceite más en cada lote de mezcla, por la cantidad de lotes en el

mes (que son 3.317) tenemos 928.76Kg. dosificados de más en este mes, que proyectado sería alrededor de 12 toneladas al año.

Hay que tener en cuenta que la balanza actual pesa de 100gr en 100gr. esto quiere decir que si el peso es de 55gr. la balanza marca 100gr. y por el contrario si pesa 45gr. la balanza marca 0gr. lo que puede hacer que el valor difiera en +-50gr, por cada lote.

Aplicando la Metodología DMAIC de 6Sigma podemos ver que hasta este punto se han cumplido dos etapas:

- **Definición del Problema**
Diferencia en los Inventarios, falta de control en dosificación de aditivos, controles no adecuados en dosificación de aceites, no se alcanza niveles óptimos de aceites.
- **Medición.**
Obtención de datos históricos del proceso. Falta de capacidad para cumplir los objetivos del proceso, alta desviación y una media diferente a lo requerido.

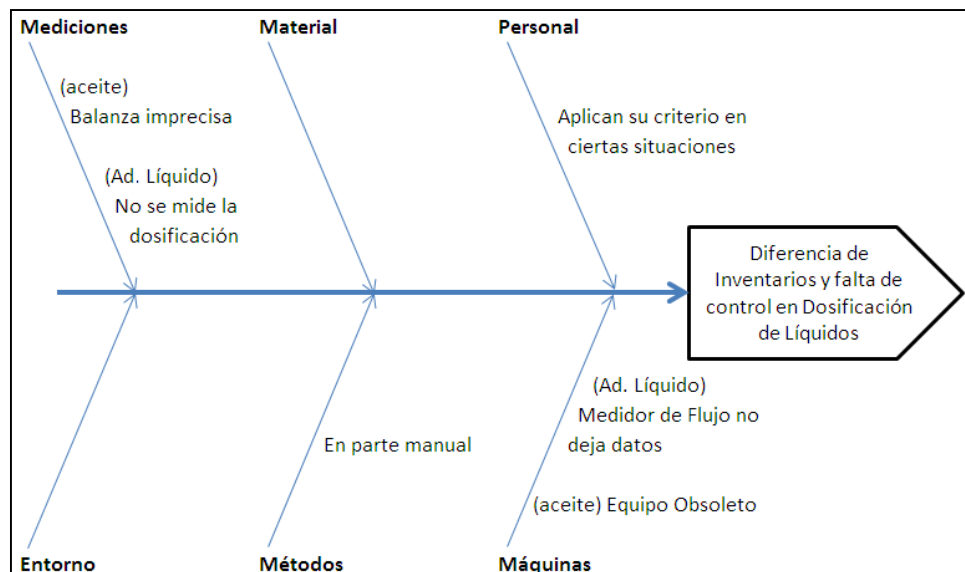
Continuando con la Metodología DMAIC de 6Sigma podemos entrar a la etapa de análisis.

En el siguiente punto procederemos a realizar un análisis de las causas a los problemas en este proceso, para luego establecer los objetivos específicos.

2.3. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

Los equipos con lo que realiza los procesos de dosificación de líquidos tienen varios años y la empresa espera encontrar nuevos equipos que le permitan implementar las mejoras planteadas.

Ilustración 12: Análisis de causa y efecto de variación en dosificación de líquidos.



Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Se necesita un balanza digital que tenga la capacidad de eliminar todas las causas y que reduzca en rango de peso de 100gr. en a lo sumo 20gr., que permita cumplir con los objetivos de calidad planteados, debido a que se pesarán valores de hasta 100Kg. neto en aceite o aditivos líquidos.

Se requiere además, reemplazar el tanque balanza de hierro por uno de acero inoxidable que tiene un peso de 100kg aproximadamente, más los 100kg de capacidad tendremos un valor de 200kg en peso bruto, que llevado a 10.000 divisiones (peso mínimo en relación al peso total ej. $200/10.000$) corresponde a 20gr, que se debe configurar al momento de calibrar, establecimiento de parámetros y pesos patrones en un nuevo tanque balanza (Ilustración 17).

2.4. ESTABLECIENDO OBJETIVOS DE CALIDAD

La empresa espera reducir las diferencias en inventario de aceites y poder tener un proceso de dosificación de líquidos estable:

- Tener una media con una tolerancia no mayor a 50gr. (19.950 – 20.050 gr), es decir una reducción de alrededor de 83% con respecto a los 280gr. de la media actual.
- Reducir la desviación de 835gr. a un valor no mayor a 200gr.

A más de las reducciones planteadas se espera poder obtener los datos de este proceso de una manera simplificada que permita el control de una eventual mejora.

También es necesario la automatización de la secuencia de inclusión del aceite y aditivos líquidos al proceso de mezclado, para eliminar el riesgo de un error humano en esta secuencia.

Para concluir con la etapa de análisis de los datos, se muestra en la ilustración 12 el diagrama de Ishikawa, donde se detallan las diversas causas que pudieran ocasionar la diferencia en los inventarios de aceite y la variabilidad actual, además el estado actual del proceso de aditivos líquidos, lo ideal es encontrar la manera de eliminar todas las posibles causas y que además:

- Permita tener una medición precisa de las dosificaciones del aceite y del aditivo líquido.
- Elimine el criterio del Operador.
- Permita ejecutar el proceso de manera automatizada.
- Permita obtener los datos de manera adecuada.

Continuando con la Metodología DMAIC de 6Sigma podemos entrar a la etapa de diseño e Implementación de la mejora de este proceso.

En el trabajo realizado por V.Parrales-J.Tamayo, (2012) que mencionamos previamente, los porcentajes de humedad del producto terminado (resultantes del manejo de aditivos líquidos) son mostrados mediante cartas de control de

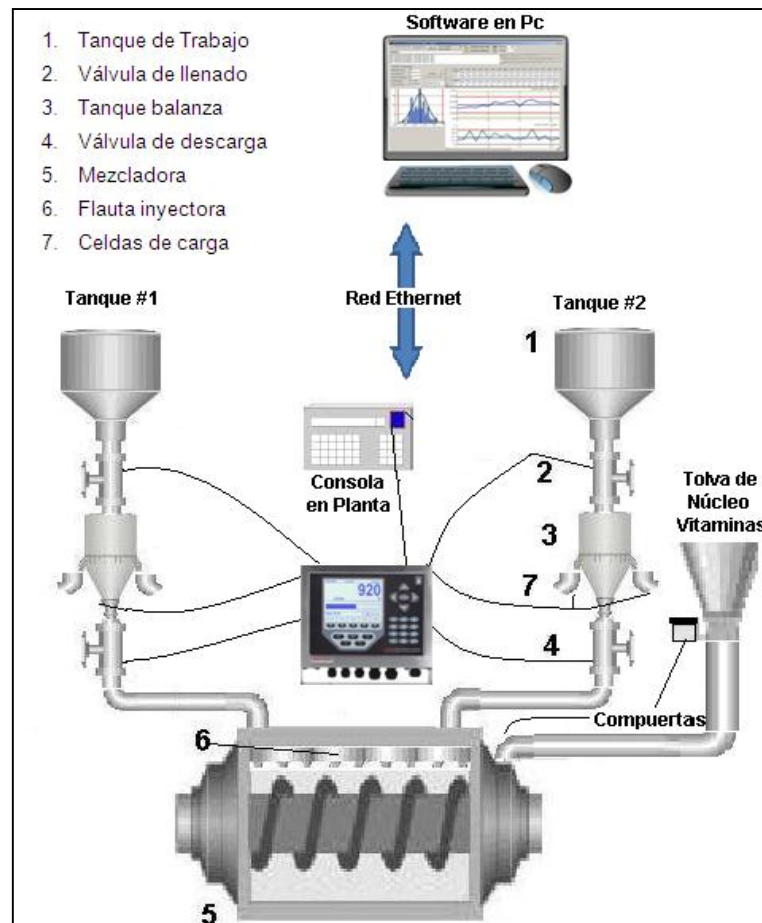
medias y rangos. En dicho trabajo nos muestran la humedad con una media 10.22%, y una desviación de 0.80% [10], que demuestra una alta variabilidad similar la que tiene inicialmente nuestro proceso. Lamentablemente no hay ningún tipo de recomendación ni acción de mejora aunque existe una oportunidad de mejora de 1.78% para llegar al 12.00% como valor óptimo de humedad planteada por ellos.

CAPITULO III

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION

El proyecto consta de dos partes; primero la programación de la balanza digital del sistema de pesado, y segundo el software de captura y análisis de los datos de las dosificaciones que deberá ser instalado en un computador. La balanza digital deberá controlar 3 balanzas, una de núcleos que son un compuesto de vitaminas, otra para aditivos líquidos y otra para la inclusión de aceite.

Ilustración 13 : Esquema general de dosificación propuesto.



Fuente: Propia

Diseño: Bismar Bermeo

3.2. MEJORA DEL PROCESO DE DOSIFICACION

3.2.1. EQUIPO SELECCIONADO

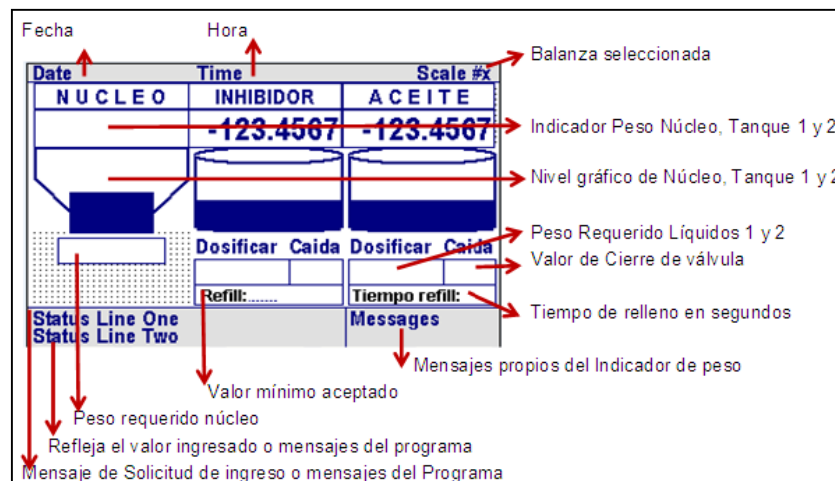
El indicador de peso programable seleccionado para este proyecto es el indicador marca Rice Lake y modelo 920i.

Este equipo tiene la capacidad de controlar hasta 32 balanzas, 100 puntos de corte, 32 temporizadores, 4 puertos de comunicación, es de acero inoxidable NEMA 4X/IP66 para ambientes hostiles y permite un alto grado de personalización y programación por línea de comandos y por bloque de pasos, con iconos que permiten realizar un interface visual para el operador.

3.2.2. PARTES DE LA PANTALLA DEL INDICADOR

La siguiente ilustración muestra en detalle el diseño de las partes de la pantalla que nos servirá para entender su funcionamiento.

Ilustración 14: Diseño de la pantalla del indicador.



Fuente: Propia

Diseño: Bismar Bermeo

La pantalla muestra los pesos de las 3 balanzas en Kilos, con sus respectivos indicadores de nivel en los gráficos, los valores de caída indican cuando

accionar el corte de llenado mediante el cierre de las válvulas, más abajo las opciones de relleno siempre y cuando no se llegue al peso mínimo.

Ilustración 15: Opciones del Operador.

Orden	Descargar	Repetir	Cargar	MORE
-Kg Caida1	-Kg Caida2	Refiil y Tiempo	Detener Todo	MORE
Espera T1-T2 Seg	Estabiliza en Seg.	Time & Date		MORE

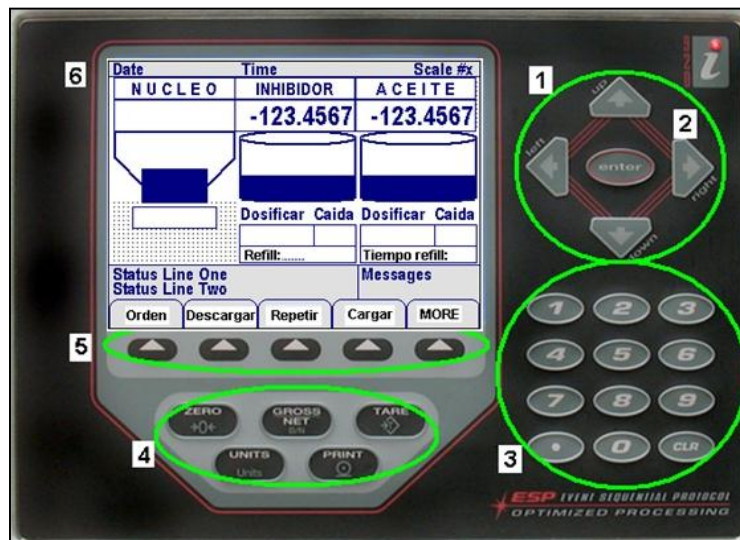
Fuente: Propia

Diseño: Bismar Bermeo

3.2.3. DESCRIPCIÓN Y MANEJO DE EQUIPO DE PESADO

En la ilustración 16, se aprecia la pantalla del indicador de peso Rice Lake 920i, en sus partes principales que son:

Ilustración 16: Pantalla del indicador con sus partes.



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

1. Botones de Navegación UP-DOWN.- cambia balanza seleccionada, esto se requiere cuando se desea usar las opciones del grupo 4,

- además del ENTER para confirmar el ingreso de valores por teclado.
2. Botón RIGHT.- reenvío de información almacenada en indicador.
 3. Teclado numérico.- Permite ingresar los datos necesarios y configuraciones del equipo.
 4. Teclas de Configuración de la Balanza.- de este grupo de botones solo está operativo el ZERO que permite ajustar a cero (0.00) la ausencia de peso en caso de una falla en la calibración leve.
 5. Softkeys.- Son las opciones que se usarán para operar principalmente el equipo que serán detalladas más adelante.
 6. Pantalla.- aquí se mostrará en detalle es estado del equipo y los datos que permitirán el funcionamiento del sistema de peso.

Ilustración 17: Tanque balanza.





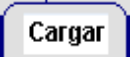





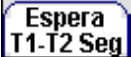

Fuente: Sertech-ec


Autor: Sertech-ec

3.3. PARÁMETROS PARA INICIAR UN PROCESO

Una vez que se conoce el equipo y sus partes podemos empezar a establecer los parámetros necesarios para el funcionamiento del equipo.

1.	<p>Para iniciar es necesario presionar el Botón Orden, el equipo solicitará el ingreso del número de orden de producción ya que los registros de los pesos se guardarán con esta información, una vez presionado ENTER el solicitará el ingreso de un valor de referencia del Núcleos (vitaminas), el valor teórico de aditivos líquidos y el valor teórico de aceite, el programa validará que estos valores no superarán los 100Kg cada uno, si alguno de estos valores esta en cero no se procesará el ingreso de este producto a la mezcladora.</p>	
5 y 6	<p>Los botones de -Kg Caída1 y 2, nos permitirán ingresar los valores de indique el cierre de la válvulas de llenado de los tanques, este valor será mayor a 0 y menor a 5 Kg., de manera que: Si el valor teórico es de 25Kg. y 0.60kg de caída la válvula de llenado se cerrará en 24.40, el valor de corte deberá ser previamente analizado por el personal calificado, con la revisión y análisis del llenado establezca el valor adecuado del valor a restar de la caída.</p>	 
3.	<p>Repetir, nos permite establece cuantas repeticiones de llenado automático se realizarán antes de cambiar la fórmula y por ende el llenado será con nuevos parámetros.</p>	
4	<p>Carga acciona el proceso de carga de los 2 productos líquidos con los parámetros ya revisados e ingresados.</p>	
2	<p>Descargar, realiza la incorporación de los líquidos a la mezcladora mediante la apertura de la válvulas.</p>	

7.	<p>Refill y Tiempo, Esta opción se implementó luego de determinar que la cantidad de producto que existe en los tanque de trabajo que alimentan los tanques balanza afectan al valor de la caída, a más producto mayor presión y son la causa principal de diferencia con el peso teórico.</p> <p>-Refill es el valor mínimo tolerable y va de 100gr a 500gr.</p> <p>-tiempo en que se va a abrir la válvula de 0.25 a 2.0s. Retomando el ejemplo anterior: Teórico = 25.00 Caída = 0.60 Refill 0.10 Tiempo: 0.50seg. Corte = 24.40 Mínimo: 24.90</p> <p>Esto significa que; una vez cerrada la válvula si el peso no llego a 24.90 se abrirá nuevamente por 0.50 segundos, esto lo hará cuantas veces sea necesaria hasta alcanzar un valor mayor a 24.90Kg. Opción introducida como mejora</p>	
8.	<p>El proceso puede ser detenido en cualquier momento por emergencia con el Botón “Detener Todo”, y se cierran las todas las válvulas mientras se resuelve el problema, esto mantendrá el peso en los tanques balanza, y una vez solucionado el problema se puede reanudar el proceso.</p>	
9.	<p>Espera T1-T2, indica cuanto tiempo debe esperar el equipo una vez descargado el primer tanque para poder comenzar a inyectar el 2do producto en la mezcladora, este tiempo puede estar a partir de 2 segundos hasta 1 minuto.</p>	
10.	<p>Estabilizar en Seg. Determina cuanto se debe esperar en segundos el proceso antes de poder evaluar el peso una vez cerrada la válvula de llenado o descarga, este tiempo puede estar a partir de 2 segundos hasta 1 minuto.</p>	

11.	Si la fecha y hora no es correcta se la puede ajustar con el teclado numérico y las fechas luego de haber presionado el Botón DATE & TIME y aceptando con ENTER .	
-----	---	---

3.4. RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO

Al encender el equipo Rice Lake 920i, se deberá ingresar los parámetros con los que funcionará el equipo, una vez que esta el equipo preparado para el trabajo se deberá iniciar el proceso con lo que los tanque se empezarán a llenar hasta encontrar los valores indicados como se detalla en el diagrama de flujo del **anexo #2**.

Cuando los productos de la dosificación de macros entren a la mezcladora, la compuerta accionará un sensor que activará la descarga de los aditivos líquidos en el siguiente orden, primero el núcleo de vitaminas, después los aditivos líquidos y luego el aceite, este proceso se detalla en el diagrama de flujo del **anexo #3**.

El indicador Rice Lake 920i al momento de descargar cada uno de los productos a la mezcladora, escribe en el puerto de comunicaciones el detalle de la transacción como son: el peso, número del tanque, fecha, hora y peso formulado como datos principales, toda esta información será recibida por el software en el computador, el cuál responderá al indicador la confirmación de la recepción de la información.

Si la base de datos no está disponible o el programa de enlace no está en ejecución, el registro es guardado temporalmente en la memoria del indicador para su posterior reenvío, adicionalmente se muestra una alerta visual de

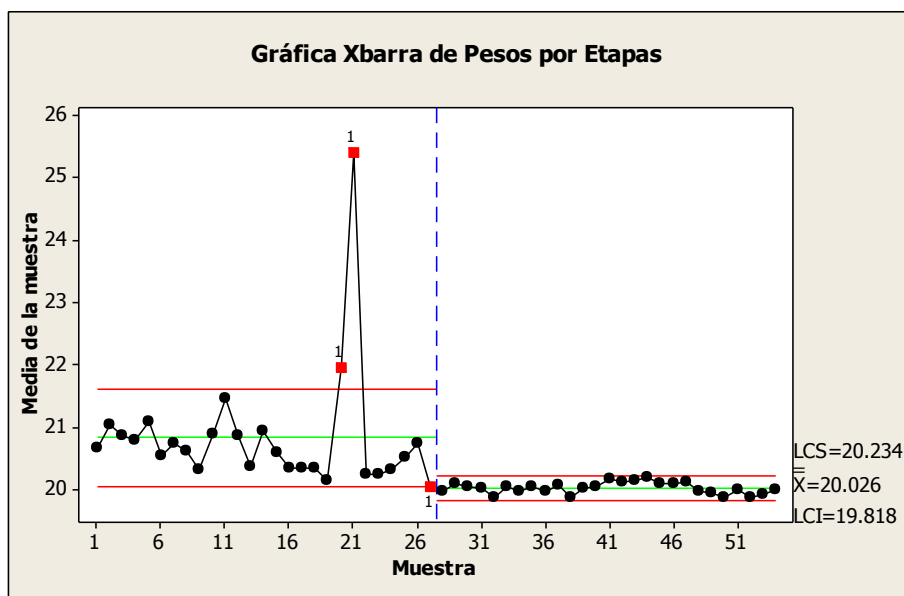
pérdida de enlace y se incrementa un contador de registros que no se han podido almacenar. Una vez concluido la secuencia de descargas, el equipo verificará si ha cumplido con la cantidad de trabajos, si no ha concluido, los tanques se llenará automáticamente a los valores ingresados y el proceso se repetirá cuando la mezcladora reciba los producto para ser mezclados.

Con todo lo anterior expuesto, el nuevo sistema de dosificación entra en una etapa de prueba real, dosificando 20kg de aceite 20kg. y aditivos líquidos, con las primeras dosificaciones se procederá a validar los resultados.

3.5. VALIDACIÓN DE DATOS LUEGO DE IMPLEMENTACIÓN

Luego de implementar el proyecto de mejora en el proceso de dosificación de líquidos, se obtuvieron los primeros datos que se almacenaron en los archivos .txt preliminares, estos datos fueron ingresados en un software estadístico para su correspondiente análisis.

Ilustración 18: Gráfica de control para media por etapas.



Fuente: Empresa en estudio

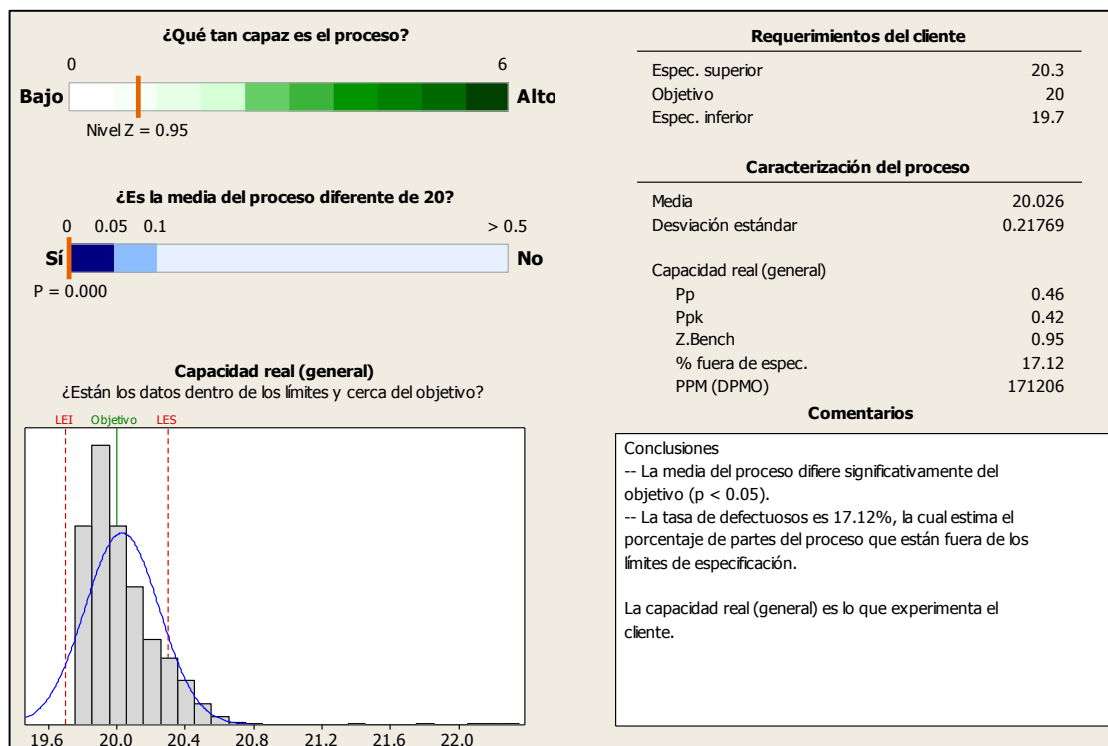
Autor: Bismar Bermeo

En la gráfica de control para medias que hemos generado con el software estadístico MINITAB a partir de los primeros datos que se obtuvieron del nuevo sistema de dosificación, preliminarmente tenemos:

- Una disminución la Media de 20.280 gr a 20.026gr, reduciendo en un 89% la pérdida de producto por exceso en las dosificaciones.
- Estabilizar el proceso dentro de los rangos aceptables para la empresa, ya que los datos anteriores se encontraban en un 73.41% (ilustración 9) fuera de especificación disminuyendo a 17.12% (ilustración 19).

Con el parámetro de cierre de la válvula a 19.60Kg. se puede apreciar una importante mejora, se procede a realizar un análisis de capacidad del proceso.

Ilustración 19: Análisis de capacidad de dosificación aceite luego de implementación



Fuente: Empresa en estudio

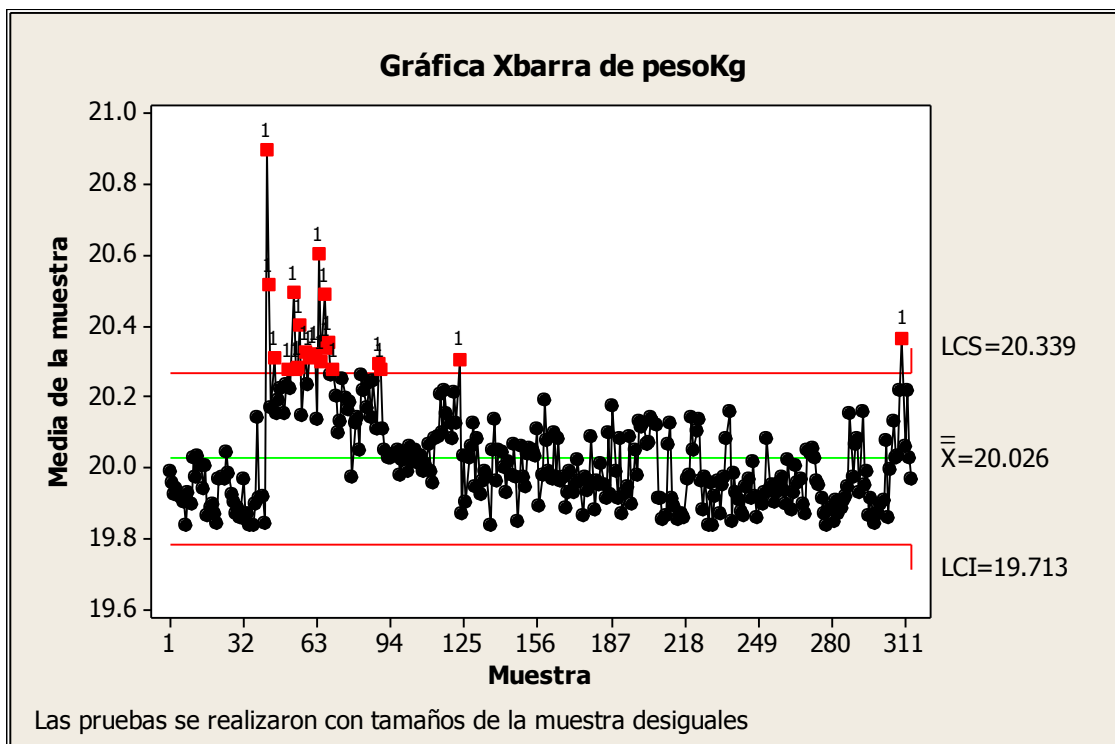
Autor: Bismar Bermeo

Aunque el proceso ha mejorado, la desviación estándar está por encima de los

objetivos planteados (menor a 200gr), debido a que su valor es de 0.218, aún existe un 17% de dosificaciones fuera del rango esperado (ilustración 19), la media aún difiere al valor esperado, los datos son satisfactorios pero lo que se busca es mejorar los parámetros hasta encontrar los valores más adecuados.

Se procederá a realizar otros análisis para tratar de determinar, si existe algún patrón o causa asignable a la variabilidad que están experimentando los datos en su etapa inicial de implementación, debemos tener en claro que debemos estabilizar el proceso antes de pasar a la etapa de control, de no hacerlo se entraría en un proceso que esté constantemente emitiendo falsas alarmas y se perdería credibilidad en el control.

Ilustración 20: Grafica de control para medias con subgrupo n=5



Fuente: Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Con los mismos datos con que se realizó el análisis de capacidad se procede

a realiza una carta de medias (ilustración 20), los valores con mayor variación se encuentran hasta la muestra #125, esto se debe a la experiencia inicial de trabajar con nuevo sistema y que corresponden a las pruebas y ajuste de la configuración del sistema de dosificación.

De los datos anteriores se excluyeron del análisis al 50% de los primeros datos y se trabajó con la 2da. mitad, de lo que resultaron los siguientes resultados:

Media = 19.98

Desviación = 0.159

Defectos = 6.23% Donde podría encontrarse la observación #306 (ilustración 20).

Esto indica que la implementación ha conseguido los resultados planteados en los objetivos y continuando con la Metodología DMAIC de 6Sigma podemos entrar a la etapa implementación y de control de los aditivos líquidos, en donde según el comportamiento de los datos se diseñará la carta de control más adecuada para el proceso.

CAPITULO IV

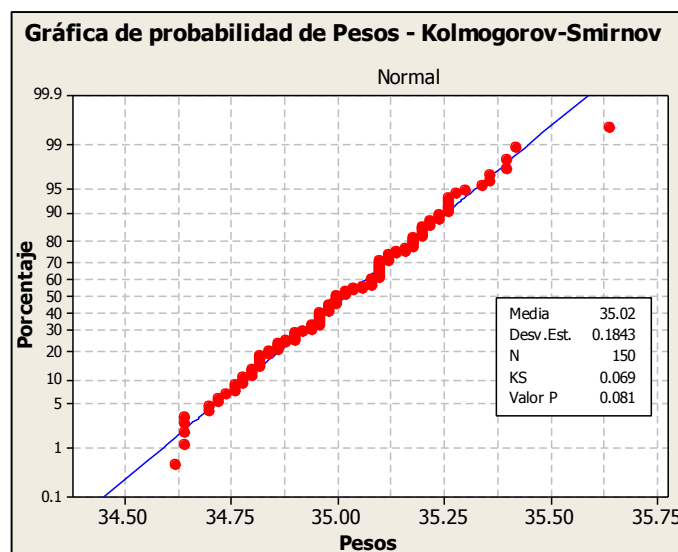
4.1. CONSTRUCCIÓN DE LAS CARTAS DE CONTROL

Luego de dos semanas de pruebas preliminares, la formulación de la dosificación de los aditivos líquidos ha cambiado, dado que en el capítulo anterior se comprobó la estabilidad del nuevo proceso, la empresa determinó que para alcanzar el porcentaje de humedad de 11%, se requiere dosificar pesos de 35Kg. de aditivo líquido, se ha tomado los 150 últimos datos de las dosificaciones, con lo que se obtiene una media de 35.019, apenas 19 gr. por encima del valor objetivo y una desviación de 0.184gr. (Ilustración 21).

4.1.1. PRUEBA DE NORMALIDAD DE NUEVOS DATOS

Previo a la construcción de la carta de control para medias y rangos se procede a realizar un análisis de normalidad de los datos, para determinar si el supuesto de normalidad se cumple, ya que de lo contrario se necesitaría transformar los datos, tratando de conseguir distribuciones de igual varianza, lo cual suele "normalizar" las variables.

Ilustración 21: Prueba de normalidad.



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Como se puede observar en la prueba de normalidad de la ilustración 21, el valor de P es mayor 0.05 con lo que se concluye que la distribución de la variable en estudio no difiere de la distribución normal. De manera que la implementación de la carta de control de medias y rangos es procedente para este proceso.

4.1.2. CARTA DE CONTROL PARA MEDIAS \bar{X}

Empezaremos la construcción de las cartas de control para nuestro proceso, con los 150 últimos datos se realiza una tabla de 30 muestras, con subgrupos de n=5 datos cada uno, como se observa en la tabla #3.

Tabla 3: Dosificaciones de Aditivos Líquidos, medias y rangos.

N	Observaciones					\bar{X}	Max	Min	R
1	34.92	34.76	34.80	34.99	34.78	34.85	34.99	34.76	0.23
2	35.00	34.90	34.76	34.86	34.88	34.88	35.00	34.76	0.24
3	34.70	35.34	34.96	34.62	34.98	34.92	35.34	34.62	0.72
4	34.90	34.82	34.86	35.00	34.88	34.89	35.00	34.82	0.18
5	35.40	34.64	34.96	34.94	34.96	34.98	35.40	34.64	0.76
6	34.98	34.78	35.10	35.08	34.82	34.95	35.10	34.78	0.32
7	34.98	34.80	35.28	35.22	35.42	35.14	35.42	34.80	0.62
8	35.24	35.08	35.04	35.10	34.84	35.06	35.24	34.84	0.40
9	35.18	34.90	35.00	35.26	34.72	35.01	35.26	34.72	0.54
10	35.22	35.20	35.12	35.10	34.96	35.12	35.22	34.96	0.26
11	34.86	34.84	35.10	35.08	34.82	34.94	35.10	34.82	0.28
12	35.26	35.36	35.10	35.14	35.00	35.17	35.36	35.00	0.36
13	35.64	35.36	35.18	35.16	34.82	35.23	35.64	34.82	0.82
14	35.10	35.20	35.12	35.10	34.98	35.10	35.20	34.98	0.22
15	35.04	35.16	35.26	35.24	34.80	35.10	35.26	34.80	0.46
16	35.18	35.06	35.16	35.20	35.00	35.12	35.20	35.00	0.20
17	35.02	35.12	35.06	35.10	34.80	35.02	35.12	34.80	0.32
18	35.40	34.64	34.96	34.94	34.96	34.98	35.40	34.64	0.76
19	34.98	34.78	35.10	35.08	34.82	34.95	35.10	34.78	0.32
20	35.18	34.90	35.02	35.26	34.76	35.02	35.26	34.76	0.50
21	35.30	35.20	35.12	35.18	34.70	35.10	35.30	34.70	0.60
22	35.10	34.64	34.94	34.94	34.96	34.92	35.10	34.64	0.46
23	34.98	34.96	35.18	35.10	34.74	34.99	35.18	34.74	0.44
24	34.90	34.64	34.96	34.92	34.96	34.88	34.96	34.64	0.32
25	34.98	35.00	35.20	35.08	34.82	35.02	35.20	34.82	0.38
26	35.24	35.08	35.02	35.10	34.86	35.06	35.24	34.86	0.38
27	35.18	34.90	35.02	35.26	34.72	35.02	35.26	34.72	0.54
28	35.22	35.20	35.12	35.10	34.96	35.12	35.22	34.96	0.26
29	34.86	34.84	35.10	35.08	34.82	34.94	35.10	34.82	0.28
30	35.26	35.00	35.10	35.14	35.00	35.10	35.26	35.00	0.26
						35.0194			0.4143

Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Con la media y desviación obtenidas inicialmente, se procede a construir la carta de control de medias, donde se podrá monitorear el valor de la media del proceso de dosificación de líquidos.

Para el diseño de esta carta de control se debe calcular la media de cada muestra, luego se determinarán los límites de control, obteniendo la desviación estándar del promedio muestral \bar{x} , dado que todos los pesos de las dosificaciones son registrados podemos conocer la media y la desviación, de manera que trabajaremos con las siguientes formulas:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Desviación = 0.1843

Media = 35.0194

n = 5

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.1843}{\sqrt{5}} = 0.0824$$

Luego se debe determinar la distancia de los límites de control "L" que esta expresada en unidades de la desviación estándar, para nuestro diseño le daremos un valor de 3, y obtendremos límites de control a tres sigmas.

$$CL_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} \pm 3(\sigma_{\bar{x}}) \quad (9)$$

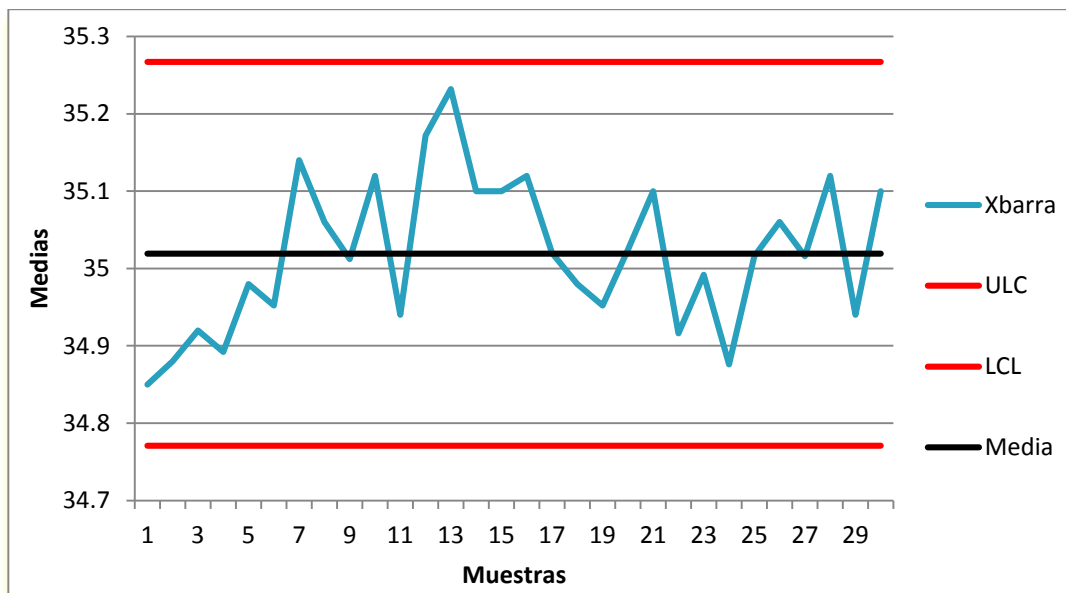
Obteniendo el límite de control Superior (UCL) e inferior (LCL):

$$UCL_{\bar{x}} = 35.0194 + 3(0.0824) = 35.2667$$

$$LCL_{\bar{x}} = 35.0194 - 3(0.0824) = 34.7721$$

Una vez obtenido los límites de control se procede a graficar los valores \bar{X} de la tabla #3, los límites de control y el valor de la media que se desea controlar.

Ilustración 22: Carta control Xbarra (Excel).



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Con esta carta de control de medias podremos controlar los valores de las medias pero no la variabilidad de que existe en cada observación, de manera que esta carta debe complementarse con la carta de control para rangos, para monitorear la variabilidad como se mencionó previamente.

4.1.3. CARTA DE CONTROL PARA RANGOS (R)

Para la construcción de esta carta de control se debe primero obtener el rango de cada una de las muestras usando los mismos datos de la tabla #3, luego se procede a calcular el rango promedio de las 30 muestras. Con esto se obtienen los límites de control superior e inferior utilizando las siguientes ecuaciones:

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (10)$$

$$\text{Línea central} = \bar{R}$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (11)$$

Donde \bar{R} Es el rango promedio de las muestras

D_3, D_4 Las constantes se las obtiene del **Anexo #1** según el número de observaciones por muestra, en este caso $n=5$.

$$\bar{R} = 0.4143$$

$$D_4 = 2.115$$

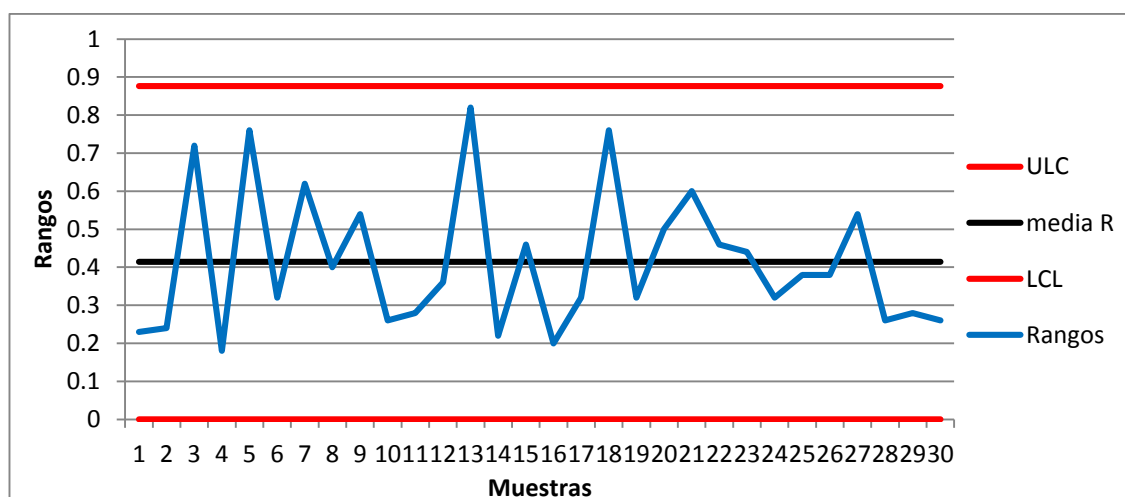
$$D_3 = 0$$

$$UCL = 2.115 * 0.4143 = 0.876$$

$$LCL = 0 * 0.4143 = 0$$

Con los límites de control obtenidos, el rango promedio, y los valores de los rangos de cada muestra se procede a realizar la gráfica de control Excel.

Ilustración 23: Carta control para rangos (Excel).



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Las cartas de control de medias y rangos graficadas en las ilustraciones 22 y 23, muestran los datos de nuestro proceso que luego de la implementación y ajuste de sus parámetros se encuentran dentro de los límites de control, es decir la media no difiere a 35.02kg y que la viabilidad se encuentra bajo control.

Por el contrario si algún punto de las cartas superara los límites de control, se podría decir que el proceso está saliendo de control y requiere de más análisis para encontrar sus causas y establecer acciones de correctivas.

Antes de incluir estos cálculos en programa informático es necesario comprobar sus resultados.

Con la media del proceso bajo control y la variabilidad controlada, podemos buscar herramientas que nos permitan predecir de una manera más efectiva alguna tendencia que indique una posible pérdida de control. Es decir que necesitemos menos puntos en la gráfica de control para detectar una señal de pérdida de control, a esto se lo llama longitud promedio de corrida (Average Range Length - **ARL**).

Aprovechando que en nuestro proceso podemos incluir todas las observaciones, podemos considerar otras cartas de control que evalúan datos con muestras $n=1$, que sean capaces de detectar pequeños corrimientos de la media del proceso. De manera que incluiremos en nuestra solución la construcción de las cartas de control para datos individuales CUSUM y EWMA.

4.1.4. CARTA DE CONTROL SUMA ACUMULADA (CUSUM)

Esta carta de control CUSUM se construye graficando la siguiente ecuación.

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \quad (12)$$

\bar{X} es el promedio de la

i-ésima muestra

μ_0 es el objetivo para la media del proceso,

“Se le llama la suma acumulada hasta la ***i-ésima*** muestra, inclusive. Ya que combina información de varias muestras, la carta CUSUM es más efectiva que las de Shewhart para detectar pequeños corrimientos en el proceso. Adicionalmente son efectivas con muestras de tamaño $n=1$. De esta manera, la carta de control CUSUM sea un gran candidato para usarse en las industrias químicas y de procesamiento, donde es frecuente que los grupos sean de tamaño uno.” (Montgomery 2004).

LA CUSUM TABULAR PARA MONITOREAR LA MEDIA DEL PROCESO

La carta de control CUSUM tabular funciona acumulando las desviaciones de μ_0 que están arriba del objetivo con un estadístico C^+ y acumulando las desviaciones de μ_0 que están abajo del objetivo con otro estadístico C^- . A los estadísticos C^+ y C^- se les llama las cusums unilaterales superior e inferior, respectivamente (Montgomery 2004).

Para la construcción de una carta de control CUSUM tabular para monitorear la media del proceso de las observaciones individuales se deben establecer:

H, Representará los límites de control de la carta CUSUM, el cual se define como $H = h * \sigma$, siguiendo las recomendaciones (Montgomery, 2004), con un valor de $h = 5$ con combinación de $k=0.5$ se podrá detectar un corrimiento aproximado a 1σ en la media.

$$H = 5 * 0.1843 = 0.9215$$

K, En las ecuaciones (13) y (14) suelen llamarse el valor de tolerancia, $K = k * \sigma$, con frecuencia se escoge aproximadamente a la mitad entre el objetivo μ_0 y el valor fuera de control de la media μ_1 que se está interesado en detectar. Se encuentra expresado en unidades de desviación estándar, si se desea detectar la mitad de la magnitud del corrimiento, entonces:

$$K = 0.50 * 0.1843 = 0.09215$$

Para ilustrar que tan bien funcionan las recomendaciones de $h=5$ y con $k=0.5$, se puede apreciar en la tabla el ARL que para detectar un corrimiento de 1σ en la media se necesitaría 10.4 muestras, en comparación a las cartas de Shewhart para mediciones individuales requiere 43.96 muestras en promedio para detectar el mismo nivel de corrimiento (Montgomery, 2004).

Tabla 4: Desempeño de CUSUM tabular con $k = 0.05$ y $h = 5$

Corrimiento de la media	valor de $h = 5$
-	465.00
0.25	139.00
0.50	38.00
0.75	17.00
1.00	10.40
1.50	5.75
2.00	4.01
2.50	3.11
3.00	2.57
4.00	2.01

Fuente: Control Estadístico de la Calidad (Montgomery, 2004).

Las cusums unilaterales superior e inferior, Se calculan con las ecuaciones:

$$C_i^+ = \max\left[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+\right] \quad (13)$$

$$C_i^- = \max\left[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-\right] \quad (14)$$

Donde los valores de inicio son $C_0^+ = C_0^- = 0$

$\mu_0 = 35$ (Para nuestro caso en estudio)

X_i es la observación a evaluar

DISEÑO DE LA CUSUM TABULAR

Con los parámetros establecidos, se procede a diseñar la carta de control CUSUM tabular con la última muestra extraída de la base de datos, vamos a elegir los valores recomendados que son $k = 0.5$ y $h = 5$, como los explica la parte teórica, ya que el objetivo será detectar un corrimiento de la media cuando esta se haya desplazado a más de una desviación estándar, usando la muestra diseñamos la carta de control en Excel (tabla #5).

Tabla 5: Carta de control CUSUM para dosificaciones de Aditivos Líquidos

X	Pesos	$C_i^+ = \max [0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+]$		UCL	$C_i^- = \max [0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-]$		LCL
1	34.92	-0.17215	-	0.9215	0.01215	-	-0.9215
2	34.76	-0.33215	-	0.9215	- 0.14785	- 0.14785	-0.9215
3	34.80	-0.29215	-	0.9215	- 0.10785	- 0.25570	-0.9215
4	34.99	-0.10215	-	0.9215	0.08215	- 0.17355	-0.9215
5	34.78	-0.31215	-	0.9215	- 0.12785	- 0.30140	-0.9215
6	35.00	-0.09215	-	0.9215	0.09215	- 0.20925	-0.9215
7	34.90	-0.19215	-	0.9215	- 0.00785	- 0.21710	-0.9215
8	34.76	-0.33215	-	0.9215	- 0.14785	- 0.36495	-0.9215
9	34.86	-0.23215	-	0.9215	- 0.04785	- 0.41280	-0.9215
10	34.88	-0.21215	-	0.9215	- 0.02785	- 0.44065	-0.9215
11	34.70	-0.39215	-	0.9215	- 0.20785	- 0.64850	-0.9215
12	35.34	0.24785	0.24785	0.9215	0.43215	- 0.21635	-0.9215
13	34.96	-0.13215	0.11570	0.9215	0.05215	- 0.16420	-0.9215
14	34.62	-0.47215	-	0.9215	- 0.28785	- 0.45205	-0.9215
15	34.98	-0.11215	-	0.9215	0.07215	- 0.37990	-0.9215
16	34.90	-0.19215	-	0.9215	- 0.00785	- 0.38775	-0.9215
17	34.82	-0.27215	-	0.9215	- 0.08785	- 0.47560	-0.9215
18	34.86	-0.23215	-	0.9215	- 0.04785	- 0.52345	-0.9215
19	35.00	-0.09215	-	0.9215	0.09215	- 0.43130	-0.9215
20	34.88	-0.21215	-	0.9215	- 0.02785	- 0.45915	-0.9215
21	35.40	0.30785	0.30785	0.9215	0.49215	-	-0.9215
22	34.64	-0.45215	-	0.9215	- 0.26785	- 0.26785	-0.9215
23	34.96	-0.13215	-	0.9215	0.05215	- 0.21570	-0.9215
24	34.94	-0.15215	-	0.9215	0.03215	- 0.18355	-0.9215
25	34.96	-0.13215	-	0.9215	0.05215	- 0.13140	-0.9215
26	34.98	-0.11215	-	0.9215	0.07215	- 0.05925	-0.9215
27	34.78	-0.31215	-	0.9215	- 0.12785	- 0.18710	-0.9215
28	35.10	0.00785	0.00785	0.9215	0.19215	-	-0.9215
29	35.08	-0.01215	-	0.9215	0.17215	-	-0.9215
30	34.82	-0.27215	-	0.9215	- 0.08785	- 0.08785	-0.9215

Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

La tabla 5 se calcula reemplazando los valores en la fórmula (13) que para nuestra primera muestra será:

$$C_i^+ = \max[0, 34.92 - (35 + 0.09215) + 0]$$

$$C_i^+ = \max[0, 34.92 - (35.09215) + 0]$$

$$C_i^+ = \max[0, -0.17215]$$

$$C_i^+ = 0$$

En la muestra 13 el valor anterior de C_{i-1}^+ es 0.24784, de modo que

$$C_i^+ = \max[0, 34.96 - (35 + 0.09215) + 0.24784]$$

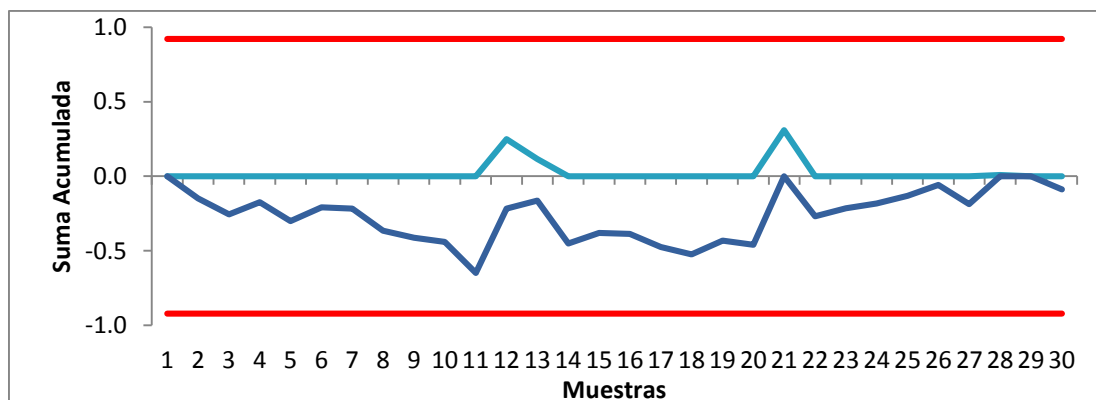
$$C_i^+ = \max[0, 0.11569]$$

$$C_i^+ = 0.11569$$

De manera que solo las diferencias de la muestra X_i que sean mayores a la media K serán acumuladas en C^+ .

Con el resultado de la tabla anterior procedemos a generar el gráfico que corresponde a la Carta de Control con sus respectivos límites de control en Microsoft Excel.

Ilustración 24: Carta de control CUSUM (Excel)



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Esta carta adicionalmente lleva un contador que se incrementa con cada observación que marca una tendencia hacia arriba o abajo, este contador vuelve a 0 cuando el valor de C_i vuelve a 0, además es posible calcular una nueva media estimada con el promedio de las observaciones que provocaron dicha tendencia y además saber desde que observación se inició la tendencia.

Con los resultados se puede concluir que la media de proceso no es diferente a la media esperada de 35kg de aditivo líquido.

4.1.5. LA CARTA DE CONTROL DE PROMEDIO MÓVIL PONDERADO EXPONENCIALMENTE (EWMA).

La carta de control EWMA es muy recomendada para detectar pequeños cambios en la media de un proceso, dado que lo puede realizar con pocas observaciones una vez marcada una tendencia de los datos, esto se lo consigue mediante la combinación de 2 parámetros son L y λ .

L , expresado en valores de desviación, usualmente se asigna un valor de 3, pero se tiene una ventaja al momento de predecir un corrimiento de la media con un valor de 2.6 o 2.8, es decir acortar los límites de control.

λ , Montgomery (2004) recomienda que valores de λ en el intervalo $0.05 \leq \lambda \leq 0.25$ tienen un buen desempeño, lo ideal es utilizar valores menores a 0.25 de λ para detectar pequeños cambios en la media.

La EWMA se calcula usando observaciones individuales y se define con la siguiente ecuación.

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (15)$$

Su valor inicial es el valor objetivo del proceso, es decir, $z_i = \mu_0$

También se usa el promedio preliminar como valor inicial, $z_i = \bar{x}$

Los límites de control se calculan en cada observación con las siguientes ecuaciones:

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (16)$$

Línea central = μ

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (17)$$

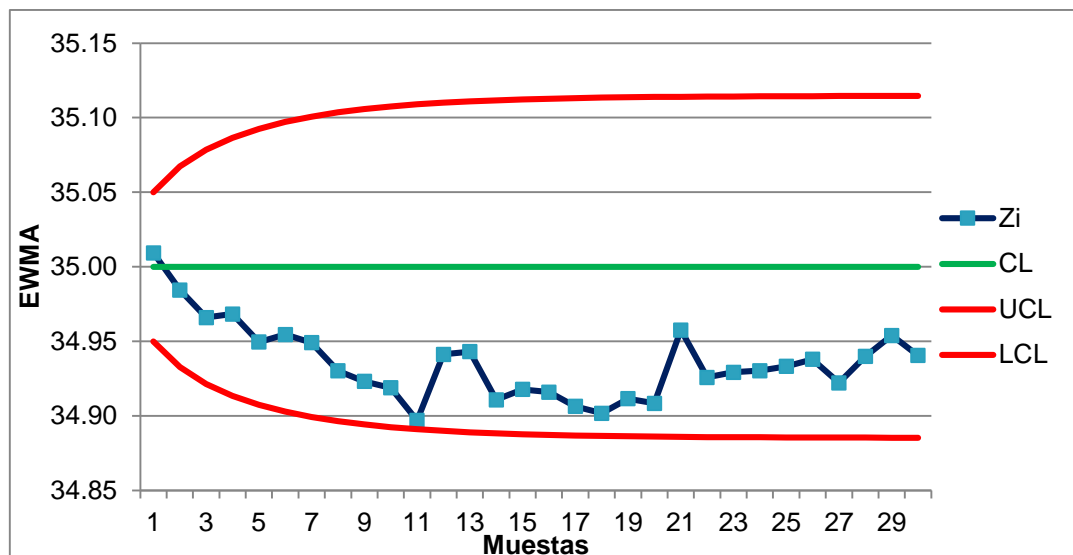
$L = 2.7$

$\lambda = 0.1$

Desviación = 0.1843

Media = 35.019 (como valor inicial tomamos la media actual)

Ilustración 25: Carta de control EWMA (Excel)



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Con las fórmulas planteadas para la construcción de la EWMA y los parámetros definidos se procede a generar la carta de control en el programa Microsoft Excel como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6: Carta de control EWMA para dosificaciones de Aditivos Líquidos

N	x_i	$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}$	$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}$	CL	$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}$
		35.0193			
1	34.92	35.0094	35.050	35	34.950
2	34.76	34.9844	35.067	35	34.933
3	34.80	34.9660	35.078	35	34.922
4	34.99	34.9684	35.086	35	34.914
5	34.78	34.9496	35.092	35	34.908
6	35.00	34.9546	35.097	35	34.903
7	34.90	34.9491	35.100	35	34.900
8	34.76	34.9302	35.103	35	34.897
9	34.86	34.9232	35.105	35	34.895
10	34.88	34.9189	35.107	35	34.893
11	34.70	34.8970	35.108	35	34.892
12	35.34	34.9413	35.110	35	34.890
13	34.96	34.9432	35.110	35	34.890
14	34.62	34.9108	35.111	35	34.889
15	34.98	34.9178	35.112	35	34.888
16	34.90	34.9160	35.112	35	34.888
17	34.82	34.9064	35.113	35	34.887
18	34.86	34.9017	35.113	35	34.887
19	35.00	34.9116	35.113	35	34.887
20	34.88	34.9084	35.113	35	34.887
21	35.40	34.9576	35.113	35	34.887
22	34.64	34.9258	35.114	35	34.886
23	34.96	34.9292	35.114	35	34.886
24	34.94	34.9303	35.114	35	34.886
25	34.96	34.9333	35.114	35	34.886
26	34.98	34.9380	35.114	35	34.886
27	34.78	34.9222	35.114	35	34.886
28	35.10	34.9399	35.114	35	34.886
29	35.08	34.9539	35.114	35	34.886
30	34.82	34.9406	35.114	35	34.886

Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Con los resultados que han mostrado las cartas de control CUSUM y EWMA se puede concluir que la media de proceso no es diferente a la media esperada que es de 35kg. de Aditivo, por el contrario si algún punto de las cartas superara los límites de control, se podría decir que la media del proceso ha

cambiado y difiere de la media esperada, indicando que se requiere de más análisis para encontrar sus causas y establecer acciones correctivas.

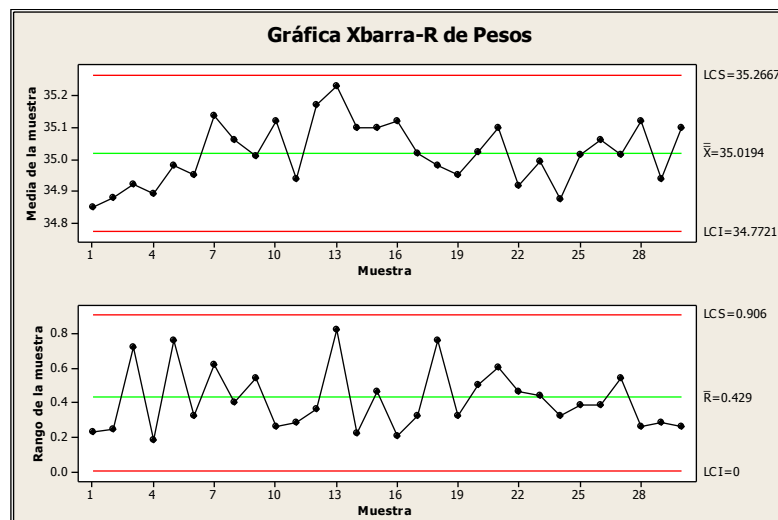
4.2. VALIDACIÓN DE CARTAS DE CONTROL

Una vez construidas las cartas de control se procederá validar los cálculos realizados previamente en Excel, contrastando los resultados, con los que se obtengan en el programa estadístico Minitab.

Para esto es necesario reconstruir las cartas de control, se procederá a descargar de la base de datos la porción de la tabla de pesos que contiene esta información, se creará un proyecto nuevo en Minitab y se colocarán en la hoja de trabajo la información descargada de la base de datos.

Como se puede observar en la ilustración 26, las gráficas \bar{X} Y R construidas en Minitab, estas tienen el mismo comportamiento a las generadas en el programa Microsoft Excel (ilustraciones 22 y 23).

Ilustración 26: Cartas de Control de Medias y Rangos (Minitab)

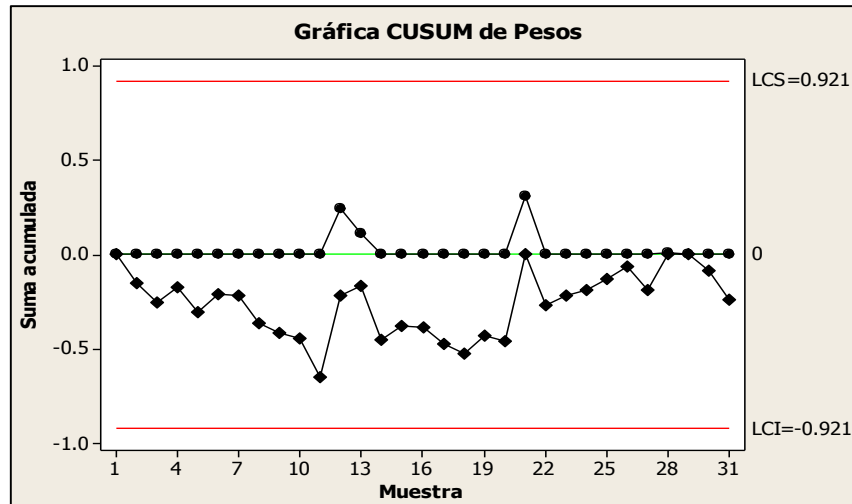


Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Observando la similitud que existe entre las cartas de control CUSUM de las ilustraciones 24 y 27, hemos validado los cálculos de esta carta.

Ilustración 27: Carta de control CUSUM (Minitab)

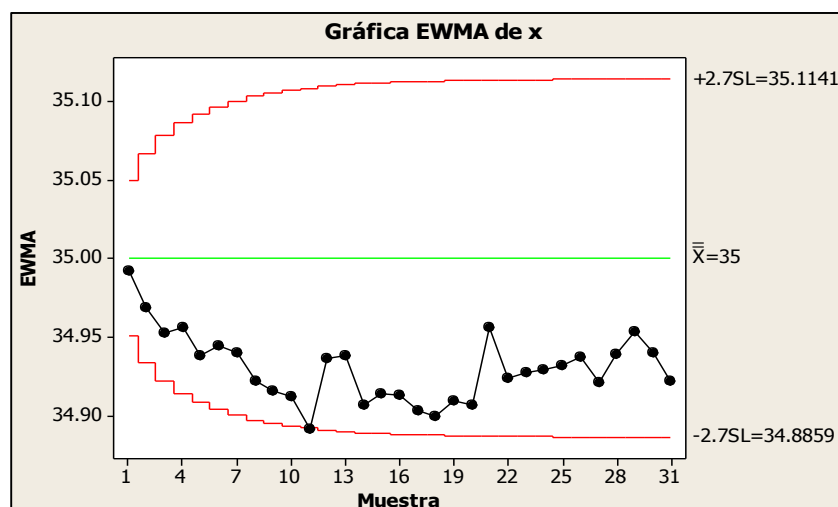


Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Se genera la carta de control EWMA usando el programa Minitab obteniendo la gráfica de la ilustración 28, se obtiene el mismo comportamiento de la carta calculada en Microsoft Excel en la ilustración 25.

Ilustración 28: Carta de control EWMA (Minitab)



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

De esta manera, los cálculos, fórmulas y parámetros de las cuatro cartas de control, serán incluidos en el entorno de desarrollo de Microsoft Visual Basic, para el desarrollo del programa informático.

Como se indicó previamente, la carta de control que se elija para monitorear el proceso de dosificación de aditivos líquidos, emitirá sus alertas correspondientes cuando se supere los límites de control establecidos para este proceso, por ejemplo, en la carta de control EWMA, si los límites hubieran sido más angostos la muestra 11 hubiera accionado las alertas por superar los límites de control.

4.3. DESARROLLO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO

4.3.1. OBJETIVOS

La misión principal del programa a desarrollar es tener la habilidad de poder establecer en tiempo real si el proceso sale de control o si tiene una tendencia que indique una futura pérdida de control, de manera que si esto ocurre se deberá informar tanto al operador como vía correo electrónico a los involucrados en el proceso (supervisores, jefes o gerentes de producción).

De esta manera se establecen los objetivos que debe cumplir el programa.

- Poder abrir un enlace directo con el equipo de dosificación.
- Recibir la información de cada dosificación.
- Almacenar en una base de datos esta información.
- Con la información almacenada calcular media, desviación y calcular las cartas de control adecuadas para el proceso y tipo de datos.

4.3.2. PLATAFORMA UTILIZADA

Aunque no es objeto de este trabajo demostrar las técnicas o métodos informáticos de programación y sistemas computacionales, se busca demostrar el resultado de la aplicación como herramienta que genera información estadística útil para la toma de decisiones, explicaremos brevemente el esquema y funcionalidad del mismo.

- Sistema Operativo: Windows 7 / Windows Xp
- Base de Datos: SQL Express 2008
- Plataforma de Desarrollo: Visual Basic 2008 Express
- Framework: 3.5
- Tipo de Comunicación: TCP/IP

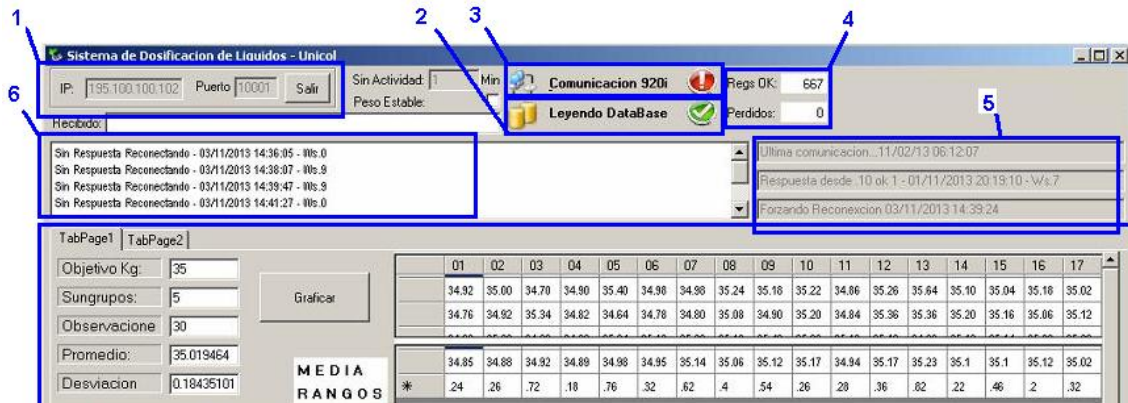
Se necesita un servidor o computador con Windows Xp o Windows 7, donde se debe instalar el motor de base de datos SQL Server Express 2008, si ya existe un servidor solo se debe crear la base de datos, debe tener un equipo con un puerto de red Ethernet 10/100 Mbps, en este equipo se debe instalar la “Software CEP en tiempo real” que es un programa ejecutable.

4.3.3. VERSIÓN PRELIMINAR DEL SOFTWARE

El programa es ejecutado al iniciar el computador y establece la comunicación con el equipo de dosificación que se encuentra en la consola del operador en la planta, al momento de agregar cada uno de aditivos líquidos, se escriben los datos en el puerto de comunicación, estos datos son escuchados por el programa de captura de datos en el computador y esta información es almacenada en un tabla de la base de datos, el software a su vez envía al indicador de pesos una confirmación de que ha recibido el dato y lleva un contador de registros almacenados.

4.3.4. DESCRIPCIÓN DE APLICACIÓN DE CAPTURA DE DATOS

Ilustración 29: Pantalla de Software de enlace y análisis estadístico.



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

PARTES DE LA PANTALLA

- 1.- IP y Puerto: Parámetros de enlace de red Ethernet al Indicador 920i, mediante un socket, estos datos deben ser los registrados en el indicador.
- 2.- Indicador de disponibilidad de Base de Datos, cada 5 minutos de inactividad el programa lee la base de datos para verificar su disponibilidad.
- 3.- Indicador de Enlace al indicador 920i que se encuentra en Planta. Este se pone en rojo cuando no se recibe confirmación al realizar ping, este proceso se activa luego de 5 minutos de inactividad.
- 4.- Contadores de registros almacenados y no almacenados.
- 5.- Estado de la comunicación, ping, último dato recibido, etc.
- 6.- Muestra los datos que están llegando desde el indicador y los mensajes de monitoreo del estado de la red.

Para ejecutar el aplicativo es necesario preparar el archivo de configuración carga.ini, donde se establece el nombre y dirección de la base de datos y servidor además de la dirección IP y puerto al que se desea establecer la

comunicación.

4.4. CONSTRUCCIÓN DE HISTOGRAMA

Un vez almacenado el registro recibido y confirmada la disponibilidad de acceso a la base de datos, el programa lee los 150 últimos valores de las dosificaciones, con este grupo de registros se obtiene la media y la desviación, para luego realizar una tabla de frecuencias, se procede a aproximar los pesos a 50gr. de manera que 34.96kg. se agrupará en la clase 34.95 (tabla 7).

Tabla 7: Tabla de Frecuencia

Clases	Pego Kg.	Frecuencia	%
1	34.60	5	3.33%
2	34.70	5	3.33%
3	34.75	6	4.00%
4	34.80	14	9.33%
5	34.85	7	4.67%
6	34.90	12	8.00%
7	34.95	19	12.67%
8	35.00	14	9.33%
9	35.05	9	6.00%
10	35.10	22	14.67%
11	35.15	10	6.67%
12	35.20	12	8.00%
13	35.25	7	4.67%
14	35.30	2	1.33%
15	35.35	2	1.33%
16	35.40	3	2.00%
17	35.60	1	0.67%

Fuente: Datos de Empresa en estudio

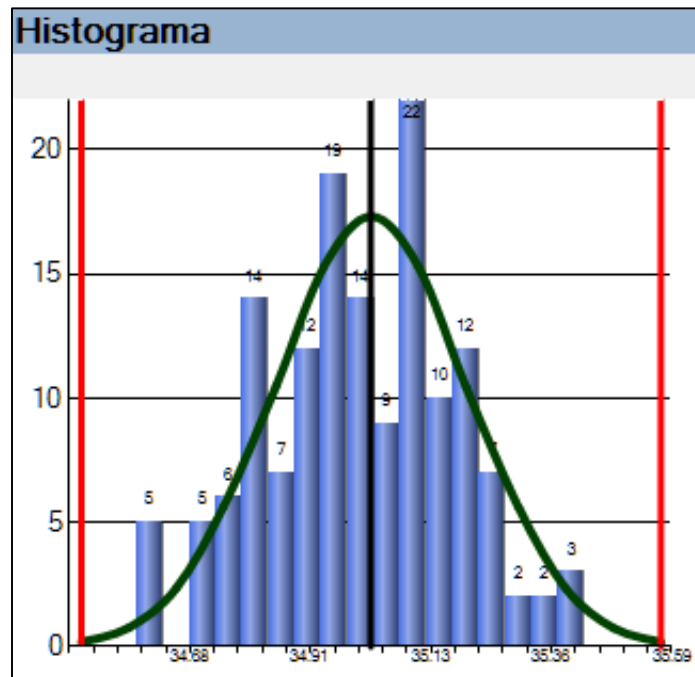
Autor: Bismar Bermeo

Con la tabla de frecuencias se procede a diseñar en el programa informático el histograma que presentaremos en nuestro análisis gráfico, el cual consta de los siguientes elementos:

- Las barras azules corresponden a los valores de las frecuencias.

- Existe 2 líneas rojas a los costados que son los límites ± 3 sigma, para nuestro caso; $35.0194 \pm (3 * 0.1843)$.
- Una línea color negro en el centro que es nuestro objetivo; 35kg.
- Se ha dibujado una línea verde que indica cómo se deberían comportar los datos si corresponden a una distribución normal.

Ilustración 30: Histograma



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

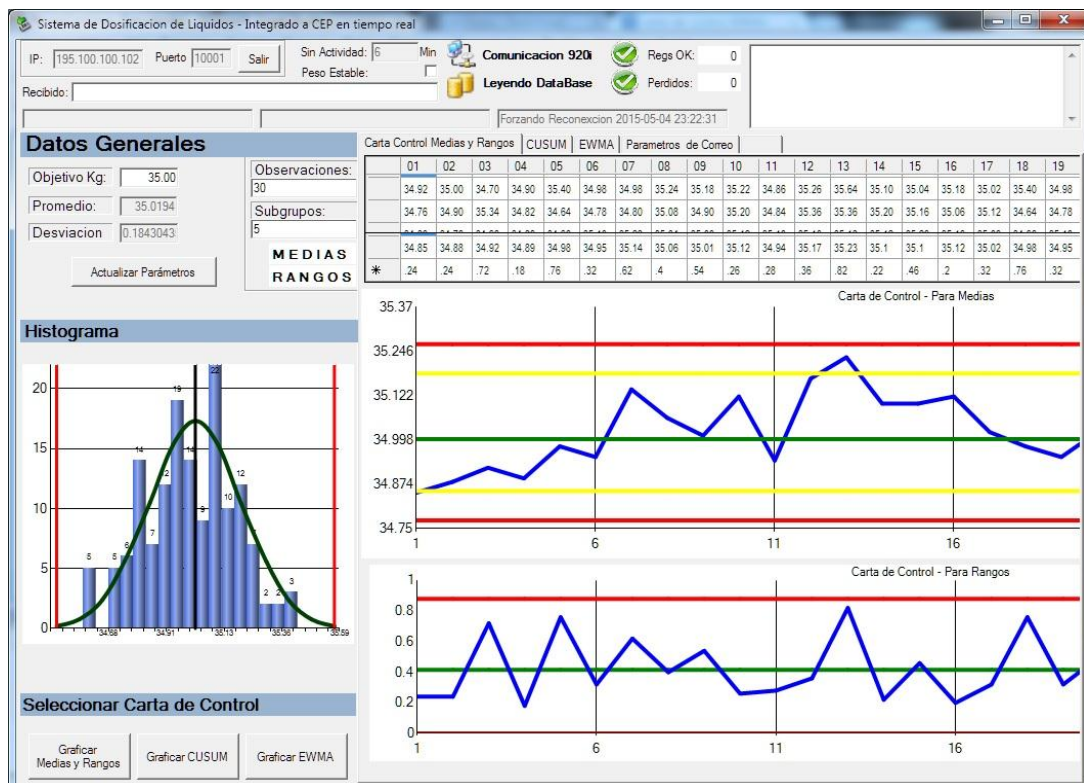
4.5. PROGRAMACIÓN DE CARTAS DE CONTROL

Con las cartas de control construidas previamente usando el programa Microsoft Excel y verificadas con el programa estadístico Minitab, se procedió al desarrollo de las mismas en el software informático, la ilustración 31, muestra la pantalla principal del programa que muestra las cartas de control de medias y rangos, además del histograma generado automáticamente a partir de la lectura de los pesos.

Con esto damos cumplimiento en este proceso con la norma ISO 9001:2008 en su artículo 8.2.3. Seguimiento y medición de los procesos.

“Las organizaciones deben adoptar métodos apropiados para realizar el seguimiento y la medición de los procesos de su sistema de gestión de la calidad. Los resultados obtenidos al realizar la medición de los procesos deben mostrar la evidencia del cumplimiento de las expectativas de los clientes, el correcto funcionamiento de cada proceso y el funcionamiento eficaz global del sistema de gestión de la calidad.”[6].

Ilustración 31: Software CEP en tiempo real



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

4.5.1. MEDIAS Y RANGOS

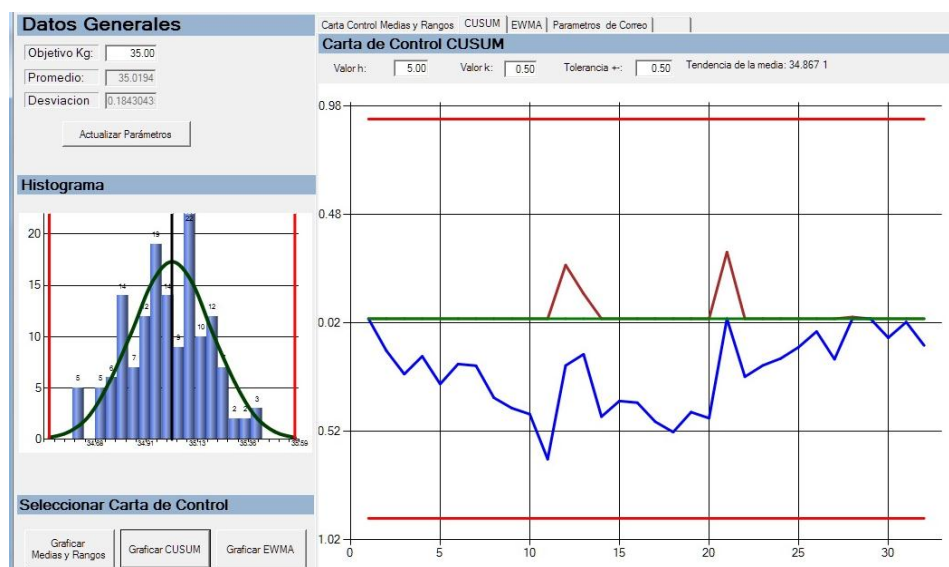
La ilustración 31, muestra el comportamiento de las cartas de control de medias y rangos con el software que se ha desarrollado, con estos resultados se demuestra que la aplicación o el uso de las ecuaciones y parámetros usados en la construcción de las cartas han sido ejecutados correctamente.

Si una de las muestras supera los límites de control, el Software emitirá las alertas correspondientes y enviará un correo electrónico informativo con las gráficas que se muestran en la ilustración 31.

4.5.2. CUSUM Y EWMA

Las ilustraciones 32 y 33, muestran el comportamiento de las cartas de control de CUSUM y EWMA, estas fueron desarrolladas siguiendo los lineamientos que se establecieron para su construcción y se demuestra la idoneidad para su implementación.

Ilustración 32: Software CEP en tiempo real (CUSUM)

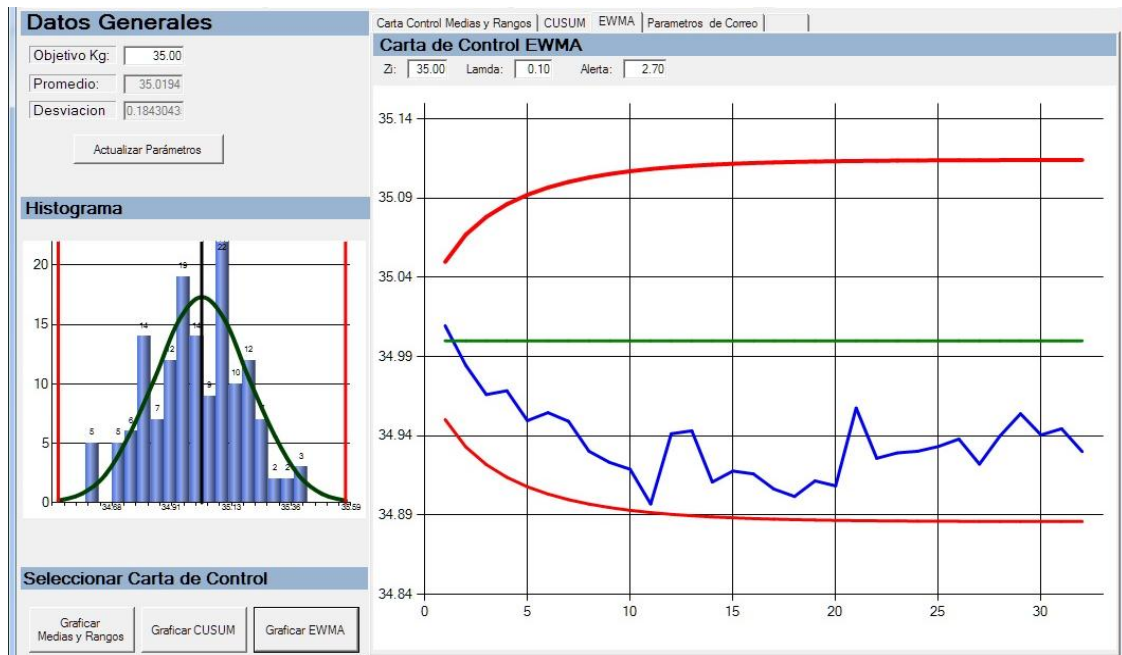


Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Si el valor del C_{+} de la carta de control CUSUM supera los límites de control, se ejecutarán las alertas correspondientes.

Ilustración 33: Software CEP en tiempo real (EWMA)



Fuente: Datos de Empresa en estudio

Autor: Bismar Bermeo

Si el valor del z_i de la carta de control EWMA supera los límites, se ejecutarán las alertas correspondientes.

4.6. OPCIONES DE ENVIO DE ALERTA VIA CORREO

Como hemos mencionado previamente, las alertas se activarán cuando el indicador sobrepase los límites de control, según la carta de control escogida para el monitoreo del proceso a controlar, que en nuestro caso es la dosificación de aditivos líquidos, este evento activa el envío de un informe gráfico mediante correo electrónico.

Para las pruebas preliminares se ha usado el servidor de correo de Gmail, se han ingresados los parámetros requeridos por este sistema de correo electrónico como lo vemos en la ilustración 34, es necesario que exista una conexión activa a internet debido a que el software debe:

- Usar los parámetros usuario y contraseña, el software iniciará una sesión en el sistema de correo electrónico.
- Crear un correo electrónico nuevo en donde de manera automática el software establecerá la dirección de destino, asunto y un breve contenido adicional que podrán ser ajustado en cualquier momento.
- Capturar en un archivo .jpg (imagen) la porción de la pantalla del programa donde se encuentra la carta de control seleccionada con sus parámetros.
- Incluir la imagen capturada a manera de archivo adjunto, con esto concluye la elaboración de este informe gráfico en formato de correo electrónico y es enviado a la dirección de correo, cumpliendo con el objetivo de informar oportunamente o anticiparse a un evento de pérdida de control.

Ilustración 34: Opciones de configuración de envío de correo

Parametros de envío de Correo de Alerta	
Servidor SMTP	smtp.gmail.com
Puerto	587
Usuario	bismarckbn@gmail.com
Contraseña	*****
Para	bismarckbn@gmail.com
Asunto	Posible comimiento de media
Contenido 1:	Los datos superan limites de control

Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

4.6.1. ENVÍO DE ALERTA VÍA CORREO ELECTRÓNICO

Se procedió a modificar los valores de las cartas de control, reduciendo la tolerancia de las mismas:

- CUSUM con valor disminuido del valor h de 5 a 3.5
- EWMA con valor disminuido del valor L , de 2.7 a 2.4,

Provocando de esta manera que los indicadores superen los límites de control a modo de prueba, y se genere el evento del envío del informe a en formato de correo electrónico.

Ilustración 35: Correo electrónico de alerta generada por carta CUSUM



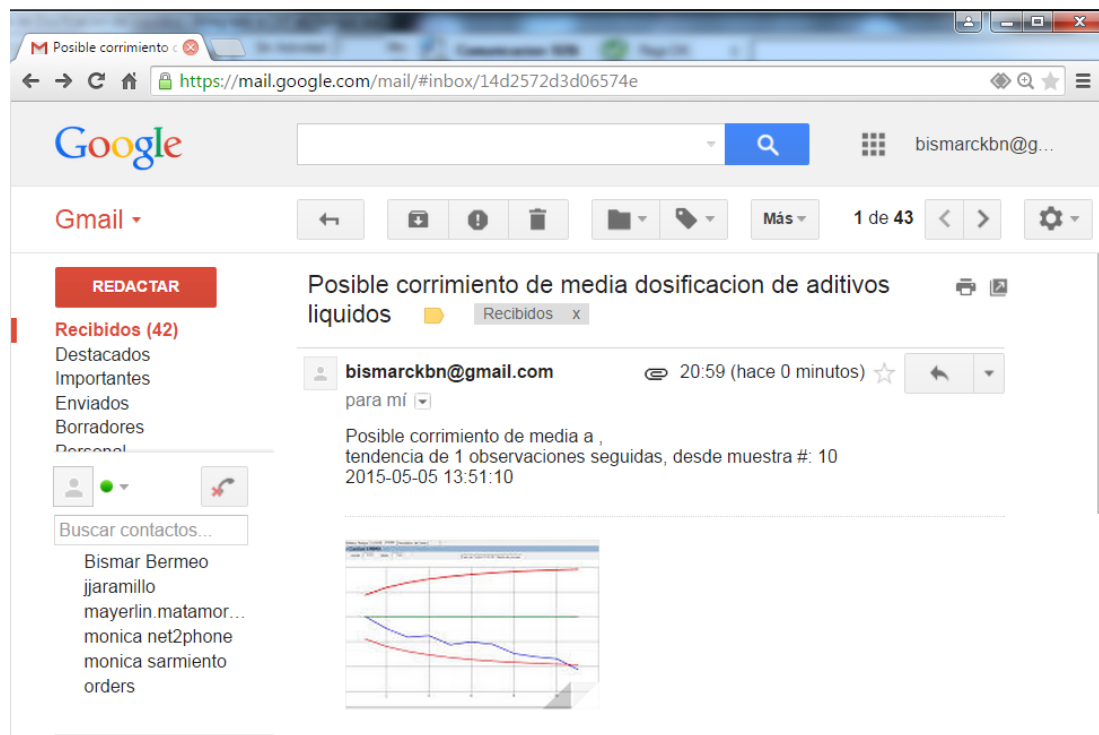
Fuente: Datos propios sobre sistema de correo Gmail

Autor: Bismar Bermeo

El correo además nos indica desde que observación se produce la tendencia que ocasiona la pérdida de control o el cambio del valor de la media, se calcula

una nueva media estimada con el promedio de las observaciones que provocaron dicha tendencia.

Ilustración 36: Correo electrónico de Alerta generada por carta EWMA

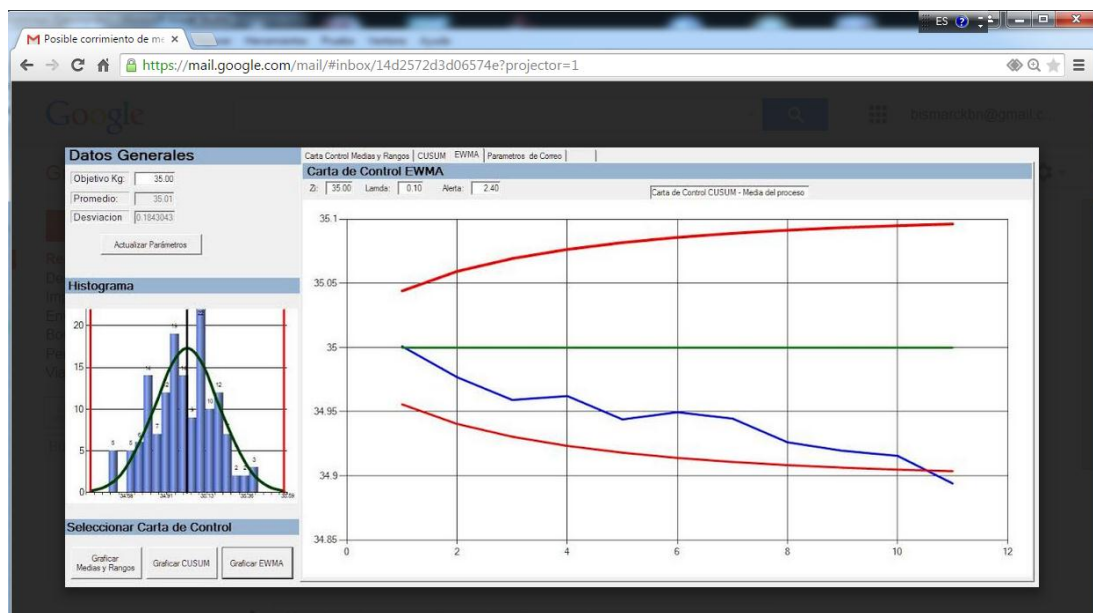
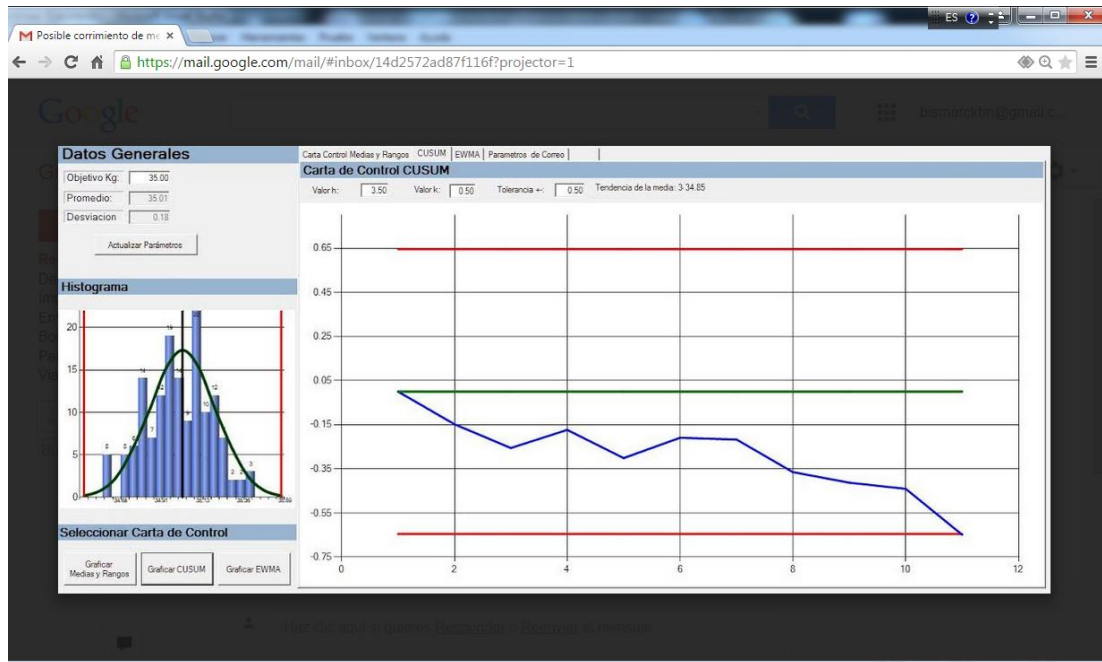


Fuente: Datos propios sobre sistema de correo Gmail

Autor: Bismar Bermeo

Descargando el archivo adjunto en los correos o usando la vista activa (ilustración 37), se puede apreciar el resultado de la carta de control, con la ventaja de que esto lo pueden apreciar: la persona encargada revisar el equipo, supervisores, un jefe de calidad o hasta el gerente de planta, adicionalmente se puede verificar este suceso desde cualquier parte del mundo, sin esperar el informe del operador o supervisor del proceso al final del cambio de turno, final del día, etc.

Ilustración 37: Informe gráfico del correo electrónico CUSUM y EWMA



Fuente: Datos propios sobre sistema de correo Gmail

Autor: Bismar Bermeo

4.7. CIERRE DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA.

Ya que hemos seguido el proceso de este proyecto de mejora y control del proceso de dosificación de líquidos mediante la metodología seis sigma, es necesario cerrar el proyecto mediante un análisis financiero del proyecto.

Para esto nos basamos en el incremento en Kg. Los aditivos líquidos, que son 15Kg (de 20 a 35kg), lo que se hará es expresar estos kilos en unidades de sacos producidos, llevarlos a la cantidad de lotes en el mes y año respectivamente, finalmente le daremos un precio de \$20 que es un precio promedio del mercado.

Aditivos líquidos inicial	20 Kg
Nuevo valor de dosificación	35 Kg
Incremento de dosificación	15 Kg
Peso del Producto terminado	40 Kg
15kg a 1 saco	0.375 Und. en Sacos
Lotes al mes	3,000 aproximado
Unidades de sacos x lotes mes	1,125
Unidades sacos x años	13,500
Precio aproximando saco	20 dólares
Sacos anuales x precio	270,000 dólares
Costo de implementación	- 20,000 dólares
Potencial beneficio económico proyectado a 1 año	250,000 dólares

Dado que los proyectos seis sigma tienen una clasificación según su beneficio económico, estaríamos hablando de un proyecto por lo menos de Black Belt (beneficios proyectados a un año mayores a \$50.000)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que el uso combinado de la tecnología en lo referente a equipos de medición, más los sistemas de información y las técnicas estadísticas en el uso de análisis a datos, pueden resultar en una herramienta de control útil al momento de validar procesos productivos.

Con relación a la implementación de la mejora en la automatización de aditivos líquidos, el control estadístico de proceso resultó de mucha utilidad ya que mediante la evaluación de la situación actual, permitió determinar el nivel de la mejora planteada, demostrar el impacto de las mismas, además de ayudarnos a determinar los valores adecuados de los parámetros con los que se alcanzaron los objetivos esperados que son:

1. Reducción de la media del proceso de 280gr. a 19gr., este valor está dentro del objetivo planteado de +-50gr.
2. Disminución de la variación de las dosificaciones, esto se evidenció en la reducción de la desviación estándar de 835gr. a 184gr., valor que está por debajo de los 200gr. planteados como objetivo.
3. Con una adecuada tabulación de los datos convertidos en información estadística útil, se eliminó el criterio humano mejorando la comunicación de los resultados de este proceso.
4. Se redujo la brecha de la humedad con el incremento del aditivo líquidos de 20kg a 35kg.

Al implementar este tipo de controles en los procesos productivos de una organización, se tendrá en todo momento la certeza que se produce cumpliendo con las especificaciones y tolerancias establecidas, esto sucedería las veinticuatro horas del día, sin la recolección de datos de forma manual, eliminando la manipulación de los datos y el informe a tiempo de las novedades o problemas que puedan suceder.

El “Software CEP en tiempo real” es una herramienta muy útil en el seguimiento de las mejoras que se puedan plantear, implementar y monitorear en los procesos, así mismo para las empresas que cuentan con certificación ISO 9001:2008 y que quieran actualizarse a la versión 2015 en la que se insta a las organizaciones a utilizar herramientas para gestionar las oportunidades de mejora. Siguiendo en la norma ISO 9001:2008, esta herramienta ayuda a cumplir algunos requisitos de la norma, en lo relacionado al registro de información de los resultados de los procesos, análisis de datos utilizando técnicas estadísticas que permita tomar decisiones en base al resultado del análisis de los datos.

El Software de CEP en tiempo real, puede ser aplicado en cualquier equipo de medición que tenga la capacidad de compartir sus datos o permita acceder a los mismos en tiempo real como: termómetros, medidores de presión, de flujo, etc., que puedan ser variables continuas y sin importar el tipo de distribución, y permita detectar problemas o tendencias que permitan evitar las no conformidades.

Entonces se puede concluir que este tipo de proyectos son adecuados para realizar un control eficaz a procesos con equipos de medición que no cuenten con un adecuado control estadístico, y también en equipamiento sofisticado para poder validar en paralelo sus resultados.

RECOMENDACIONES

Una vez alcanzado los objetivos planteados, en el valor de la media y variabilidad del proceso de dosificación de aditivos líquidos, se recomienda:

1. La implementación de un nuevo tanque de trabajo intermedio de menor capacidad, que siempre se encuentre lleno mediante algún sistema de llenado automático tipo boya, de manera que no afecte la disminución del nivel del tanque trabajo principal, y la presión de entrada del aditivo líquido al tanque balanza sea siempre la misma, de manera que existe una presión constante con la que se obtenga una mayor estabilidad en el llenado.
2. Otro punto importante es la revisión de la calibración de la balanza, la norma ISO 9001:2008 indica que deben adoptarse procedimientos de revisión de los equipos de medición, para asegurar que los pesos dosificados sean siempre los correctos se debe colocar un peso patrón sobre el tanque balanza y verificar que este peso se refleje en la pantalla del indicador, se recomienda el uso de un peso patrón de 10kg, realizar esta verificación a cada cambio de turno, generar en un registro de las variación que existan y reportar al departamento de mantenimiento para que tome las medidas del caso.
3. Se deben mantener limpios siempre los tanques balanza, debido a que la acumulación de polvo o desperdicio del proceso afecta a la cantidad dosificada.

Existe aún una variación que puede reducirse, el histograma (ilustración 30) muestra el proceso con un comportamiento bi-modal, se recomienda realizar un análisis de este comportamiento para disminuir aún más la variabilidad.

A N E X O S

ANEXO #1

Constantes para el cálculo de límites de control

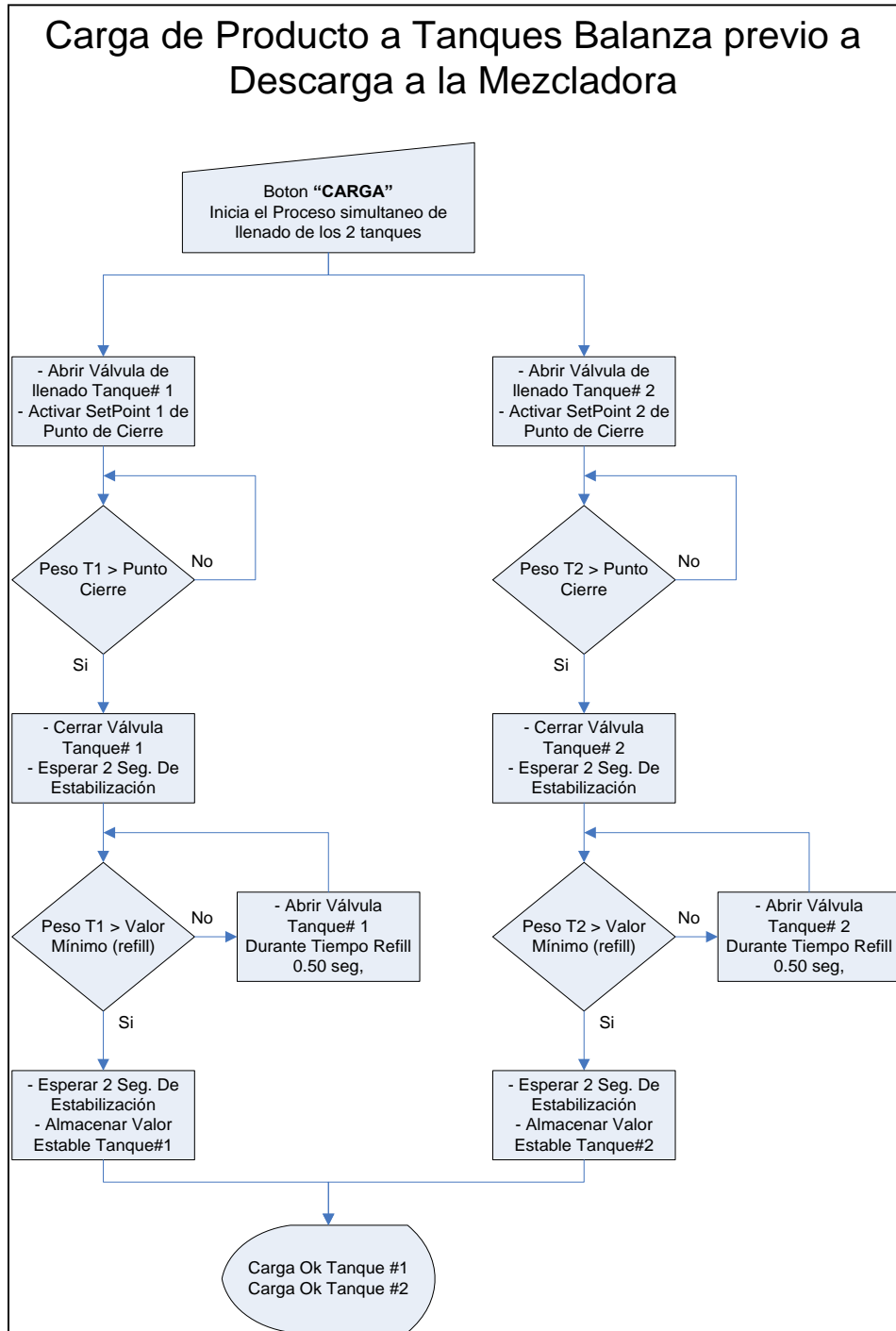
n	A₂	D₃	D₄	d₂
2	1.880	0.000	3.267	1.128
3	1.023	0.000	2.574	1.693
4	0.729	0.000	2.282	2.059
5	0.577	0.000	2.115	2.326
6	0.483	0.000	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078

Fuente: Montgomery (2006)

Autor: Bismar Bermeo

ANEXO #2

Diagrama de flujo de la programación de llenado

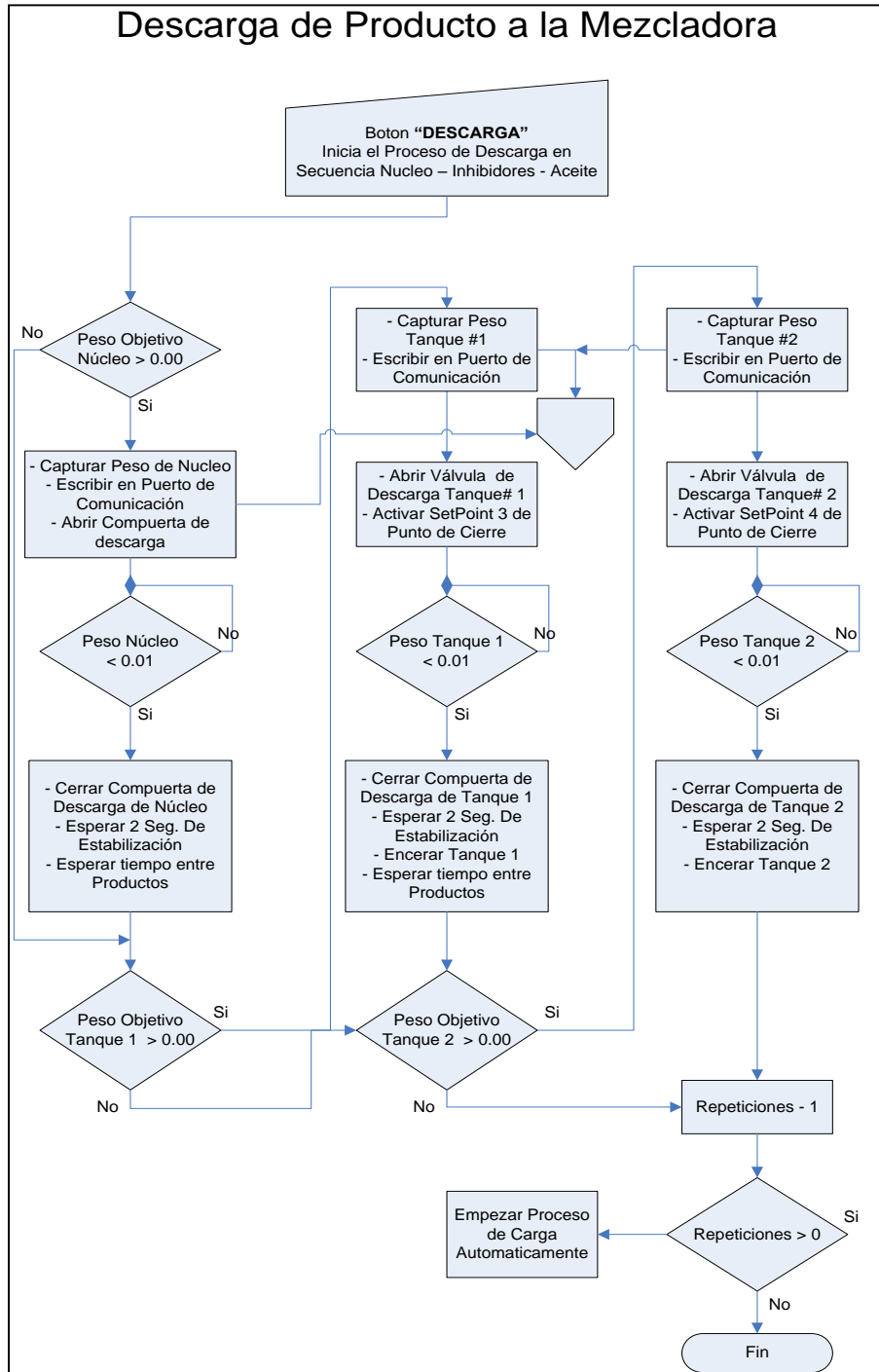


Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

ANEXO #3

Diagrama de flujo de la programación de descarga



Fuente: Propia

Autor: Bismar Bermeo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma - Humberto Gutiérrez Pulido - 2009
- [2] Control estadístico de procesos - Roberto Carro Paz - Daniel González Gómez
- [3] Control Estadístico de la Calidad - Douglas C. Montgomery - 2004
- [4] CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS - Arturo Ruiz-Falcó Rojas (2006)
- [5] <http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>Madrid, Marzo 2006
- [6] ISO, norma ISO 2008:9001 Sistema de Gestión de la Calidad, 2008
- [7] Administrar para la calidad, GUTIÉRREZ Mario (2004)
- [8] “BIOGRAFÍA DE WILLIAM EDWARD DEMING”, Lorena del Río Donoso (2010)
- [9] El Ciclo Shewhart o el Ciclo Deming, José M. Alemany (2004)
- [10] “Diseño de un modelo de Gestión Estratégico para el mejoramiento de la Productividad y Calidad Aplicado a una Planta de Alimentos Balanceados”. V.Parrales-J.Tamayo, (2012)