



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

ITM

**“SOFTWARE DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA
INDUSTRIA MANUFACTURERA”**

OPCIÓN

“TESIS PROFESIONAL”

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

PRESENTA:

SEIDY BEATRIZ TUN CHAN

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2020



"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

DEPENDENCIA: DIV. DE EST. DE POSG. E INV.
No. DE OFICIO: X-254/20

Mérida, Yucatán, **02/septiembre/2020**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

C. SEIDY BEATRIZ TUN CHAN
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
PRESENTE.

De acuerdo al fallo emitido por su director **Jesús Sandoval Gio** y la comisión revisora integrada por Carlos Alberto Luján Ramírez, José Ramón Atoche Enseñat y José Agustín Hernández Benítez, considerando que cubre los requisitos establecidos en el Reglamento de Titulación de los Institutos Tecnológicos le autorizamos la impresión de su trabajo profesional con la TESIS:

"SOFTWARE DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA "

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica

HERMILA ANDREA ULIBARRI BENÍTEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.p. Archivo
HAUB/GME/fja,



S.E.P.
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE MÉRIDA
DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION



Agradecimientos

A La Empresa porque me otorgó la beca académica para alcanzar esta meta así también proporcionó los recursos para realizar el proyecto de tesis.

Ninguna investigación o trabajo es solo esfuerzo y dedicación de su autor por tanto agradezco:

Al Director de tesis Dr. Jesús Sandoval Gío con su conocimiento, orientación, paciencia, motivación y apoyo logre concluir esta tesis.

A los revisores de tesis por su orientación y apoyo logre concluir esta tesis.

A mi colega el Ing. Alfredo Gabriel Sosa Barrera por su apoyo durante mi formación académica.

Dedicatoria

A Dios que en todo momento me acompaña y da su fuerza en cada paso que doy para realizar cada proyecto de mi vida.

A familia por su amor, paciencia y apoyo incondicional en mi vida y más en esta formación académica.

A Antonio Acosta por amor, paciencia, apoyo y dedicación para que concluya satisfactoriamente mi formación académica.

Contenido detallado

| | |
|--|------|
| Agradecimientos | iv |
| Dedicatoria | v |
| Contenido detallado | vi |
| Índice de tablas..... | viii |
| Índice de figuras..... | ix |
| Resumen..... | xii |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3 Objetivos..... | 6 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 6 |
| 1.3.2. Objetivo Específico..... | 6 |
| 1.4 Alcance y metas..... | 6 |
| 1.5 Justificación..... | 7 |
| 2. Marco teórico | 8 |
| 2.1 Estado del Arte / Técnica | 15 |
| 2.1.1. Trabajos relacionados | 15 |
| 2.1.2. Fundamentos y aplicación de estadística | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.1.3. Fundamentos y aplicación del entorno grafico LabView® | 25 |
| 3. Metodología | 26 |
| 3.1 Actividades | 26 |
| 3.2 Procedimiento para el diseño del software | 28 |
| 3.2.1 Diseño del Diagrama a bloques | 28 |
| 3.2.2 Diseño del panel frontal o interfaz del usuario | 33 |
| 3.3 Diseño de la prueba | 39 |
| 3.3.1 Análisis en el modo manual..... | 40 |
| 3.3.2 Análisis con el software | 46 |
| 3.4 Requerimiento para el software..... | 55 |
| 4. Resultados | 56 |
| 4.1 Resultados del Análisis..... | 56 |
| 4.1.1 Resultados del tiempo en el análisis entre el modo manual y el software..... | 56 |
| 4.1.2 Resultados de las variables en el Análisis entre el modo manual y el software | 56 |
| 5. Conclusiones | 59 |
| 6. Trabajo a futuro | 60 |
| Referencias | 61 |
| Apéndices | 63 |
| Glosario | 63 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Resultado en tiempo entre el modo manual y el software | xii |
| Tabla 2. Plan de producción proyectado a cinco semanas | 3 |
| Tabla 3. Softwares de análisis estadístico en el mercado | 13 |
| Tabla 4. Factores para la construcción de los gráficos de control X y R | 20 |
| Tabla 5. Valores del Cp y su interpretación | 22 |
| Tabla 6. Valores del Cpk y su interpretación | 23 |
| Tabla 7. Valores del Cpm y su interpretación | 24 |
| Tabla 8. Reglas de estabilidad y capacidad del proyecto | 25 |
| Tabla 9. Resultado en tiempo entre el modo manual y el software | 56 |
| Tabla 10. Resultado de la capacidad entre el modo manual y el software | 57 |
| Tabla 11. Resultado comparativo de los límites en datos individuales | 57 |
| Tabla 12. Resultado comparativo para las variables del rango | 58 |
| Tabla 13. Resultado comparativo para diferentes variables | 58 |
| Tabla 14. Resultado en tiempo entre el modo manual y el software | 59 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ensamble de un relevador de corriente..... | 2 |
| Figura 2. Componentes del relevador | 2 |
| Figura 3. Sistema de recolección de datos | 8 |
| Figura 4. Pantalla del Sistema de recolección de datos para la prueba de alto voltaje | 10 |
| Figura 5. Pantalla del Sistema de recolección de datos para la prueba de DCR..... | 11 |
| Figura 6. Producto etiquetado | 12 |
| Figura 7. Etiqueta | 12 |
| Figura 8. Diagrama a bloques del proyecto | 27 |
| Figura 9. Diagrama a bloques | 29 |
| Figura 10. Diagrama de los límites de Control para el grafico X | 30 |
| Figura 11. Factores para la construcción el gráfico X | 30 |
| Figura 12. Diagrama de los límites de Control para el grafico R | 31 |
| Figura 13. Factores para la construcción el gráfico R..... | 31 |
| Figura 14. Diagrama a bloques para los índices de capacidad..... | 32 |
| Figura 15: Reglas de estabilidad y capacidad del proyecto | 33 |
| Figura 16. Panel frontal o interfaz del usuario del software | 34 |
| Figura 17. Sección número de parte a analizar | 35 |
| Figura 18. Sección selección del análisis..... | 35 |
| Figura 19. Sección Parámetro y muestra..... | 36 |
| Figura 20. Sección índice de capacidad de procesos | 37 |
| Figura 21. Sección datos individuales y Rango | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Sección grafica de movimiento individual | 38 |
| Figura 23. Sección grafica de rangos | 38 |
| Figura 24. Sección regla de estabilidad y capacidad de proceso | 39 |
| Figura 25. Encabezado de la forma..... | 40 |
| Figura 26. Lecturas en la forma | 40 |
| Figura 27. Resultado de datos individuales y Rango | 41 |
| Figura 28. Gráfico de movimiento individual..... | 41 |
| Figura 29. Gráfico de movimiento del rango | 42 |
| Figura 30. Resultado de la estabilidad del proceso | 42 |
| Figura 31. Encabezado de la forma..... | 43 |
| Figura 32. Lecturas en la forma | 44 |
| Figura 33. Resultado de datos individuales y Rango | 44 |
| Figura 34. Gráfico de movimiento individual..... | 45 |
| Figura 35. Gráfico de movimiento del rango | 45 |
| Figura 36. Resultado de la estabilidad del proceso | 45 |
| Figura 37. Panel del usuario..... | 46 |
| Figura 38. Panel de análisis estadístico | 47 |
| Figura 39. Carga el archivo..... | 48 |
| Figura 40. Selección de la prueba y llenar los parámetros..... | 48 |
| Figura 41. Resultado del análisis | 49 |
| Figura 42. Gráfico de movimientos individuales..... | 50 |
| Figura 43. Gráfico de Rangos | 50 |
| Figura 44. Resultados del proceso | 51 |

| | |
|--|----|
| Figura 45. Carga el archivo..... | 52 |
| Figura 46. Selección de la prueba y llenar los parámetros..... | 52 |
| Figura 47. Resultado del análisis | 53 |
| Figura 48. Gráfico de movimientos individuales..... | 54 |
| Figura 49. Gráfico de Rangos | 54 |
| Figura 50. Resultados del proceso | 55 |
| Figura 51. Usuario..... | 55 |

Resumen

La Empresa se dedica a la manufactura de una variedad de productos y cada producto es checado en la estación de trabajo final denominado sistema de recolección de datos.

El análisis estadístico se realiza de modo manual con los archivos de datos generados por el sistema de recolección de datos. Este método tiene una desventaja ya que el tiempo de respuesta del grupo multifuncional es amplio.

Con el desarrollo del software de análisis estadístico para la industria manufacturera bajo el entorno de programación gráfica NI LabVIEW®. Los datos generados por los sistemas de recolección de datos se procesan con el software para su análisis y los resultados están disponibles en menor tiempo con esto, el grupo multidisciplinario determina las acciones a implementar en la línea de producción.

Como se muestra en la **Tabla 1** y en el capítulo **4.1 Resultados del Análisis** la disponibilidad de los resultados entre modo manual y automático (software) se reduce:

Tabla 1

Resultado en tiempo entre el modo manual y el software

| Piezas | Manual | Software | Reducción |
|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| 100 | 4:25:31 | 0:01:18 | 4:24:13 |
| 300 | 4:30:31 | 0:02:31 | 4:28:00 |

El software de análisis estadístico MASTERQ9 QA aporta a la Empresa un software de estrategia de prevención y detección de las variaciones en menor tiempo que el modo manual.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Actualmente la industria manufacturera que es dependiente de la línea de producción y de su Control de Calidad solo refleja los esfuerzos para detectar producto no conforme en otras palabras, significa que la línea de producción inspecciona 100% el producto y Control de Calidad realiza una inspección por lote de la producción para detectar si el producto cumple con las especificaciones.

Si agregamos una amplia variedad de números de partes a producir esto implica cambios dinámicos en el plan de producción, estos cambios se ven reflejados en la capacidad de respuesta inmediata a las variaciones.

Las variaciones en la producción afectan el resultado de una pieza a otra o de un lote a otro y el resultado de las variaciones en una línea de producción genera un atraso en la producción y como una posible consecuencia un atraso en la entrega del producto al cliente.

Por lo que la industria manufacturera implementa estrategias de prevención y mejora a través de softwares de análisis estadístico para realizar el análisis del proceso de la línea de producción así determinar las variaciones y tomar acciones.

La empresa manufacturera a presentar en este proyecto la denominaremos “La Empresa” tiene una amplia gama de productos como estampado de partes plásticas y metálicas, arneses, sensores

de corriente, enrollados, relevadores de corriente como se muestra en la **Figura 1** y **Figura 2**, procesos platinado, niquelado o pasivado de las partes metálicas, switches de corriente, inductores y ensamble de enrollados.

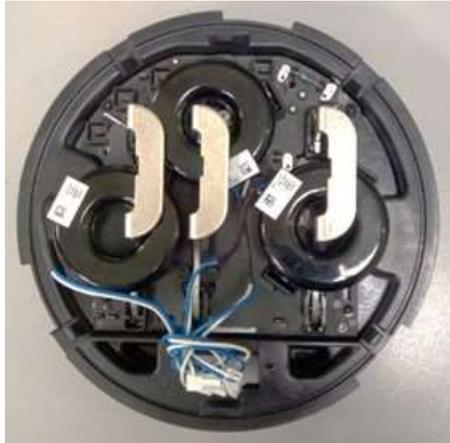


Figura 1. Ensamble de un relevador de corriente

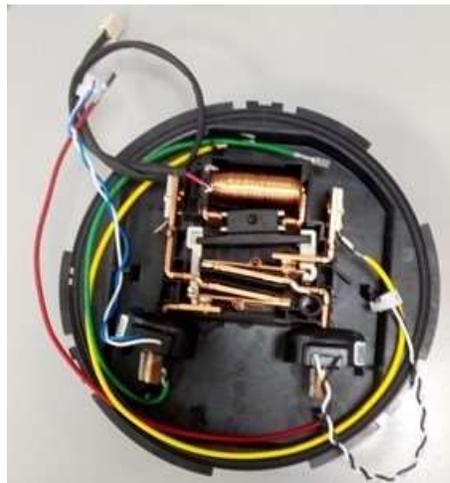


Figura 2. Componentes del relevador

El plan de producción de La Empresa proyectado a cinco semanas donde en una semana de producción puede producir desde 52 a 212 diferentes productos y un departamento o línea de producción puede producir de 1 a 10 modelos, como se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2*Plan de producción proyectado a cinco semanas*

| # | Número de parte | Depto / SC | FO REV | 1921 | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 |
|----|--------------------|---------------|-----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | FFFF37 | 29 | C2 | 70,686 | | 80,000 | | 80,000 |
| 2 | FFF145 | 29 | B13 | 59,735 | 50,000 | 50,000 | 50,000 | 50,000 |
| 3 | FFFF38 | 30 | C3 | 56,415 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 80,000 |
| 4 | FFFF43 | 30 | C3 | 53,620 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 80,000 |
| 5 | FFFF44 | 30 | B3 | 52,265 | | | 70,000 | |
| 6 | FFFF45 | 30 | C3 | 48,451 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 80,000 |
| 7 | FFFF47 | 30 | B2 | 46,629 | | 40,000 | 100,000 | |
| 8 | FFFF47 | 30 | B3 | 42,596 | | 80,000 | | 80,000 |
| 9 | FFFF49 | 29 | C1 | 41,551 | | 70,000 | | 70,000 |
| 10 | FFFF50 | 30 | B3 | 34,485 | 30,000 | 80,000 | | 80,000 |

Nota: Plan de producción de La Empresa proyectado a cinco semanas.

1.2 Planteamiento del problema

La Empresa actualmente realiza el análisis estadístico de proceso de modo manual por el departamento de Aseguramiento de Calidad.

Se denomina modo manual ya que el usuario llena la forma SPCDATA (Análisis de datos del control estadísticos del proceso) de acuerdo a los resultados del archivo de datos generado por el Sistema de Recolección de Datos del producto.

A continuación, se describe el modo manual para el caso del estudio de control estadístico; el usuario debe seguir los pasos siguientes:

1. Acceso a la carpeta EMXXXX_MMYDD del servidor de la planta, en esta carpeta se almacenan los archivos de datos que se generan de los Sistema de Recolección de Datos. En caso de no contar con el acceso el usuario solicita el archivo fuente de las piezas conformes al departamento de Desarrollo de Software.
2. Respalidar el archivo fuente de piezas conformes a analizar en el ordenador personal. Ejemplo: FFFFFFFF_YYWW_TTTTTT_01_data_gdp.fal.
3. Abrir el archivo fuente con Excel.
4. Agregar una columna y enumerar del 1 hasta la última lectura.
5. Abrir la forma SPCDATA
6. Copiar los valores del parámetro a analizar en grupos de 60.
7. Pegar los valores en la forma SPCDATA.
8. Llenar los campos requeridos en Forma SPCDATA: número de parte, hoja viajera, código de fecha de fabricación, fecha, parámetro a medir (resistencia, inductancia, capacitancia, etc), la unidad del parámetro y los limites inferior y superior.
9. La interpretación de los gráficos de control estadístico de movimiento individual y rango, lo realiza el representante de Aseguramiento de Calidad que, a través de una junta con el grupo multidisciplinario, trasmite el resultado obtenido sobre el número de parte analizado y conjunto definen las acciones a seguir sobre las variaciones.

El tiempo de respuesta para la toma de decisión del grupo multidisciplinario sobre las variaciones y el ajuste en la línea de producción se realiza hasta la siguiente producción.

Debido a esto, surge la necesidad del desarrollo de un software que realice de modo automático y en menor tiempo el análisis estadístico. De esta manera, la toma de decisión del multidisciplinario y el ajuste en la línea de producción se puede realizar durante la producción.

El grupo multidisciplinario está compuesto con un representante de los siguientes departamentos: Ingeniería de Manufactura, Ingeniería de Producto, Aseguramiento de Calidad, Ingeniería de Diseño e Ingeniería Industrial.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un software de análisis estadístico aplicable a la industria manufacturera para determinar la capacidad y estabilidad del proceso de la línea de producción y de esta manera reducir el tiempo de respuesta a la toma de decisiones.

1.3.2. Objetivo Específico

1. Desarrollar software de análisis estadístico usando los archivos generados por el sistema de recolección de datos del producto de acuerdo a los puntos definidos por las gerencias.
2. Validar software de análisis estadístico.

1.4 Alcance y metas

Al término del proyecto se tendrán los siguientes alcances:

1. El reporte técnico para la tesis.
2. La validación y resultados del software.
3. Entrega del software estadístico.

1.5 Justificación

La implementación de un software que realice de modo automática el análisis estadístico de la línea de producción usando los archivos generados por el Sistema de Recolección de Datos del producto, aporta a la compañía un software de estrategia de prevención, detección de las variaciones y con un tiempo de respuesta menor esto beneficiará al grupo multidisciplinario y a la línea de producción.

Esto significa que los integrantes del grupo multidisciplinario al tener los resultados en menor tiempo podrán analizar, interpretar y determinar las acciones a implementar en la línea de producción.

2. Marco teórico

La Empresa es diseñadora y fabricante de una amplia variedad de componentes y conjuntos electrónicos basados en magnéticos utilizados para la conversión y medición de energía. Cuenta con plantas localizadas en Mérida Yucatán México, Xiamen Fujian China y en Bangalore India con aproximadamente 3,000 empleados en conjunto.

Desde la implementación del Sistema de Recolección de Datos en el 2014 se están generando los archivos de datos de presencia de componente, parámetros eléctricos y mecánicos en la estación final (estación de prueba) de la línea de producción donde cada producto se checa de acuerdo a sus especificaciones; ver **Figura 3**.



Figura 3. Sistema de recolección de datos

Por ejemplo, el sistema de Recolección de datos para el numero de parte FFF636 consta de dos pruebas eléctricas: la prueba de alto voltaje y DCR (resistencia a corriente directa) como se muestra en la **Figura 3**.

El registro en el archivo de datos inicia cuando el lector de scanner lee y guarda el serial de la pieza a checar. La pantalla del sistema de recolección de datos para cada prueba eléctrica despliega los siguientes datos, como se muestra en la **Figura 4** y **Figura 5**.

- a) Número de parte (FPN),
- b) Hoja viajera (Traveller),
- c) Fecha (Date code),
- d) Cantidad (Qty),
- e) Usuario (User),
- f) Contador de piezas checadas (Pieces tested),
- g) Serial (Serial),
- h) Tipo de prueba (Test type),
- i) Botón indicador pasa (Pass),
- j) Botón indicador falla (Fail),
- k) Contador de piezas buenas (good pieces),
- l) Contador de piezas malas (bad pieces),
- m) El parámetro de medición (Measurement)

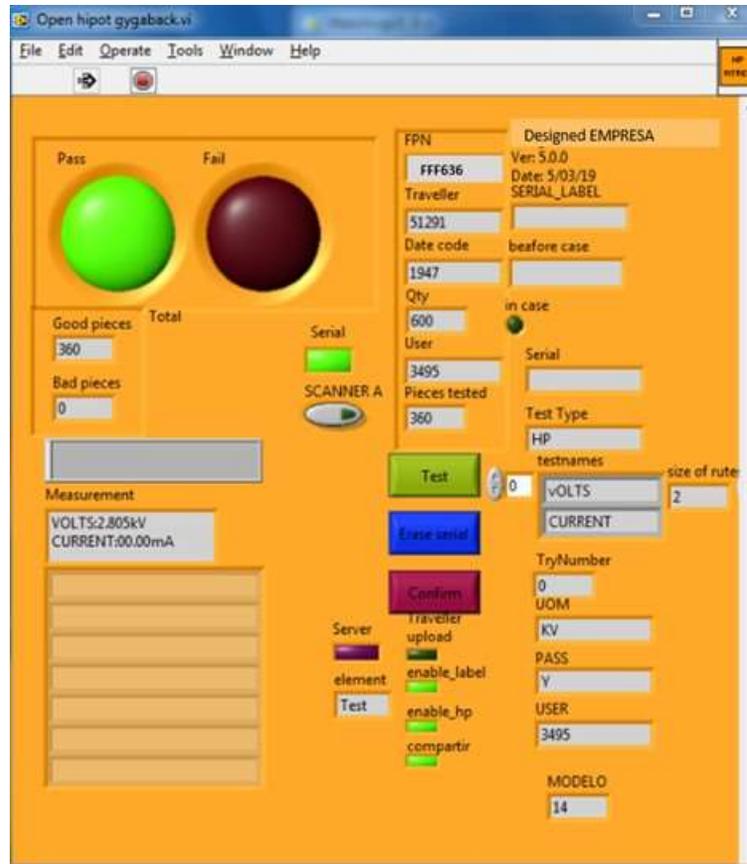


Figura 4. Pantalla del Sistema de recolección de datos para la prueba de alto voltaje

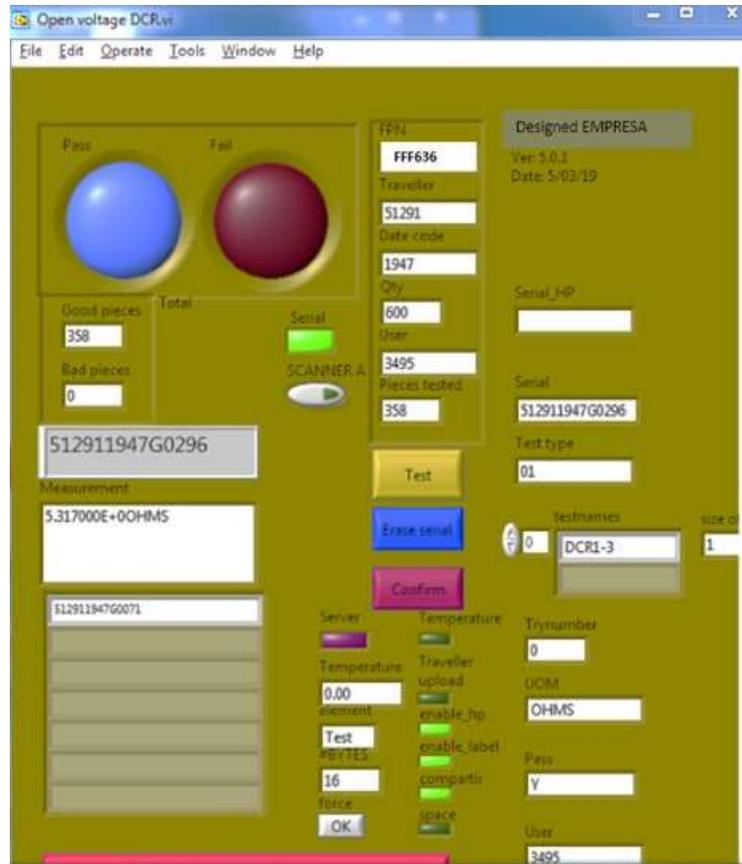


Figura 5. Pantalla del Sistema de recolección de datos para la prueba de DCR

El producto cuenta con una etiqueta 2D para su rastreabilidad como se muestra en la **Figura 6** y **Figura 7**. La etiqueta tiene la siguiente información: número de parte de la empresa FFFFFFF o número de parte del cliente CPN (XXXXXX), revisión (REV), código fecha (YYWW), hoja viajera (TTTTT), nombre del fabricante (MMMMM) y el número serial (SSSSS).

El sistema de rastreabilidad de los productos se realiza a través de un número serial contenida en la etiqueta; esta etiqueta identifica que el producto pasó la prueba de presencia de componentes, eléctricas y /o mecánicas bajo el Sistema de Recolección de Datos, así como los estándares de calidad.



Figura 6. Producto etiquetado

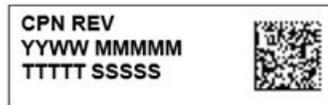


Figura 7. Etiqueta

Actualmente los archivos de datos generados se usan en dos casos:

Caso 1 (queja del cliente): el producto no cumple con las especificaciones como presencia de componentes, parámetros eléctrico o mecánico, la empresa solicita información que está contenida en la etiqueta para su rastreabilidad; la rastreabilidad en el archivo de datos se realiza de modo manual para verificar el valor de la medición antes de salir de la planta.

Caso 2 (estudio de análisis estadístico): este análisis se realiza bajo requerimiento del cliente con la finalidad de cumplir con uno de los requisitos del procedimiento “Procesos de Aprobación de Partes de Producción” y se realiza de modo manual.

Como la empresa no cuenta con un software análisis de control estadístico como una estrategia de prevención de defectos, evitar ajustes innecesarios, proporcionar información de la capacidad del proceso y mejorar la productividad.

Los softwares para el análisis de control estadístico en el mercado tienen un costo elevado con renovación anual, usuarios limitados, ver tabla comparativa de softwares.

El Minitab® es el software más cercano a las necesidades de la Empresa y costo del programa para 10 usuarios es de US \$5,560.00 más el costo por renovación anual de la licencia. El requerimiento de usuarios en la empresa es entre 15 a 25 usuarios, esto incrementa el costo como se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3
Softwares de análisis estadístico en el mercado

| Características | Analyse-it® | (Quality | |
|--------------------------|-----------------------|---------------|--|
| | Control & Improvement | Matlab ® | Minitab ® 18 |
| | Edition) | | |
| Precio | US \$ 499 | US \$ 2,150 | US \$ 1,495 |
| Demo | si | si | si |
| Versión Libre | no | No Disponible | no |
| La Empresa opción | si | No | si |
| La Empresa > 10 usuarios | No disponible | No Disponible | US \$ 5,560 , > 10 usuarios contactar al proveedor. |

Nota: Precios de acuerdo a la fecha de investigación.

Los Sistema de Recolección de Datos se desarrollan bajo el software NI LabVIEW® ya que la empresa cuenta la licencia. Para este proyecto La Empresa solicitó el uso de los recursos disponibles para el software análisis de control estadístico se desarrolle bajo el entorno LabVIEW®.

NI LabVIEW® es un entorno de programación grafica de propósito general conocida como programación G, ya que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto. Esto hace más amigable para el programador. Está compuesta por el panel frontal que es la interfaz del usuario para el VI (Instrumentos virtuales) y diagrama a bloques contiene el código de la fuente gráfica para controlar los objetos del panel frontal.

2.1 Estado del Arte / Técnica

2.1.1. Trabajos relacionados

En la actualidad el control estadístico tiene aplicaciones en diferentes disciplinas como se menciona en los siguientes documentos:

“El sistema de control de procesos es una parte integral del sistema general de gestión empresarial. El objetivo del sistema de control de procesos es hacer predicciones sobre el proceso actual y futuro. Esto lleva a una decisión económicamente acertada acerca de las acciones que afectan el proceso”. Control estadístico de proceso (SPC) (Daimler Chrysler Corporation, 2005).

El análisis estadístico de los datos geotécnicos (Uzielli, 2008), este documento menciona como entre las disciplinas matemáticas esta la teoría estadística que permiten un modelado, procesamiento, evaluación y en específico las principales aplicaciones del análisis estadístico en datos geotécnicos para la implementación y diseño basados en la incertidumbre.

El documento denominado Software de sistema de procesamiento de datos (DPS) con diseño experimental, análisis estadístico y minería de datos desarrollado para uso en investigación entomológica (Zhang, 2013) menciona que las aplicaciones del DPS en la entomología y la biología en sus tres etapas se involucra el análisis estadístico.

Mejora de la consistencia de los datos en el control de producción mediante la adaptación de algoritmos de minería de datos (Felix Brambringa, 2016) en este documento los autores hacen

notar como la minería de datos puede mejorar de la planeación de la producción y el control de procesos en la industria manufacturera.

Uso de métodos de minería de datos para el control del proceso de fabricación (P. Vazan, 2017), los autores hacen notar la importación de la minería de datos en la industria manufacturera ya que actualmente las empresas acumulan grandes volúmenes de datos; estos datos deben ser extraídos y analizados para predecir tendencias y el resultados del análisis permiten la toma de decisiones de los gerentes.

Técnicas de minería de datos aplicadas a la industria manufacturera de pequeñas a medianas empresas (PYMES) (Michael S Packianathera, 2016) en este documento los autores hacen notar la ventaja del análisis de datos como un componente clave de estrategia y toma de decisiones para las empresas a través de la minería de datos.

2.1.2. Fundamentos y aplicación de estadística

El desarrollo del software de análisis estadístico se realiza bajo el estudio de la Estadística en específico, del análisis de la calidad y la variabilidad del proceso.

Por lo cual, considero importante conocer la definición de estadística.

Definición de estadística según “Control de la Calidad” (Besterfield, 2009, pág. 118)

La palabra estadística tiene dos significados de aceptación general:

1. Una colección de elementos cuantitativos pertenecientes a cualquier tema o grupo, en especial cuando los datos son reunidos y cotejados sistemáticamente.
2. La ciencia que trata de la recolección, tabulación, análisis, interpretación y presentación de datos cuantitativos.

El software se enfoca en el análisis de la capacidad y estabilidad del proceso por lo cual, determiné dividirlo en dos partes, la primera parte se enfoca a la orientación a través de un curso de estadística y la segunda parte a la selección de las formulas aplicables al proyecto.

Parte 1: Inscripción al curso de Estadística (Temas selectos II, Ingeniera Industrial del Instituto Tecnológico de Mérida) con la Dra. María Antonia Morales González. Las secciones del curso enfocado al software con apoyo de los libros.

1: Gráficas de control para variables

1.1 Conceptos generales y principios del Control Estadístico de Proceso (CEP).

1.2 Elaboración e interpretación de gráficas para variables.

1.2.1 Grafico X-R.

1.2.2 Grafico X-S.

1.2.3 Gráfico X de individuales.

1.3 Capacidad de proceso.

2: Gráficas de control de atributos

2.1 Conceptos generales de atributos

2.2 Elaboración e interpretación de gráficas para atributos

2.2.1 Grafico p.

2.2.2 Grafico np.

2.2.3 Gráfico c.

2.2.3 Gráfico u.

Parte 2: describe las fórmulas de la estadística involucrados en el software. Esta parte divide en cuatro secciones

1. Datos individuales y Rango

- X_{bar} = el promedio del grupo de datos

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- UCL_x : límite superior de control para el gráfico X.

$$UCL_{\bar{x}} = X_{bar} + 3\sigma_x = X_{bar} + A_2MR_{bar}$$

- LCL_x : límite de control inferior para el gráfico X.

$$LCL_{\bar{x}} = X_{bar} - 3\sigma_x = X_{bar} - A_2MR_{bar}$$

- USL: valor máximo de la especificación bajo prueba.

- LSL: valor mínimo de la especificación bajo prueba.

- N: valor nominal de la especificación.

- Max: valor máximo del grupo de datos
- Min: valor mínimo del grupo de datos
- Standard: es la desviación estándar conocida como σ .

$$S = \frac{MR_{bar}}{d_2}$$

- Range: rango.

$$R = Xmax - Xmin.$$

- MR_{bar} : el promedio de los rangos del grupo de datos

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

- UCL_R: límite superior de control para el gráfico R.

$$UCL_R = MR_{bar} + 3\sigma_R = D_4MR_{bar}$$

- LCL_R: límite de control inferior para el gráfico R.

$$LCL_R = MR_{bar} - 3\sigma_R = D_3MR_{bar}$$

Los factores para el grafico X y R se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4*Factores para la construcción de los gráficos de control X y R*

| Tamaño de la muestra n | Carta X | | Carta R | |
|------------------------|---------|-------|---------|-------|
| | A2 | d2 | D3 | D4 |
| 2 | 1.880 | 1.128 | 0 | 3.267 |
| 3 | 1.023 | 1.693 | 0 | 2.574 |
| 4 | 0.729 | 2.059 | 0 | 2.82 |
| 5 | 0.577 | 2.326 | 0 | 2.114 |
| 6 | 0.483 | 2.534 | 0 | 2.004 |
| 7 | 0.419 | 2.704 | 0.076 | 1.924 |
| 8 | 0.373 | 2.847 | 0.136 | 1.864 |
| 9 | 0.377 | 2.970 | 0.184 | 1.816 |
| 10 | 0.308 | 3.078 | 0.223 | 1.777 |
| 11 | 0.285 | 3.173 | 0.256 | 1.744 |
| 12 | 0.266 | 3.258 | 0.283 | 1.717 |
| 13 | 0.249 | 3.336 | 0.307 | 1.693 |
| 14 | 0.235 | 3.407 | 0.328 | 1.672 |
| 15 | 0.223 | 3.472 | 0.347 | 1.653 |
| 16 | 0.212 | 3.532 | 0.363 | 1.637 |
| 17 | 0.203 | 3.588 | 0.378 | 1.622 |
| 18 | 0.194 | 3.640 | 0.391 | 1.608 |
| 19 | 0.187 | 3.689 | 0.403 | 1.597 |
| 20 | 0.180 | 3.735 | 0.415 | 1.585 |
| 21 | 0.173 | 3.778 | 0.425 | 1.575 |
| 22 | 0.167 | 3.819 | 0.434 | 1.566 |
| 23 | 0.162 | 3.858 | 0.443 | 1.557 |
| 24 | 0.157 | 3.895 | 0.451 | 1.548 |
| 25 | 0.153 | 3.931 | 0.459 | 1.541 |

Nota: Referencia (Daimler Chrysler Corporation, 2005)

2. Capacidad o habilidad del proceso

Definición de acuerdo a “Control estadístico de la calidad y seis Sigma” (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2013, pág. 118) consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso en relación con sus especificaciones y su ubicación respecto al valor nominal, para una característica de calidad dada, y así saber en qué medida cumple los requerimientos.

La capacidad del proceso se usa para predecir si el proceso cumple con las especificaciones, reducir la variabilidad en el proceso, seleccionar proveedores, redefinir las especificaciones del producto o del proceso, especificar el desempeño de un nuevo equipo.

Las variables características que intervienen se detallan a continuación:

- C_p (Índice de capacidad) se define como el indicador de la capacidad potencial del proceso que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso y su interpretación se muestra en la **Tabla 5**.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 * S}$$

Tabla 5*Valores del C_p y su interpretación*

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

Nota: Referencia (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2013)

- C_{pU} : Índice de capacidad superior.

$$C_{pU} = \frac{USL - X_{bar}}{3 * S}$$

- C_{pL} : Índice de capacidad inferior.

$$C_{pL} = \frac{X_{bar} - LSL}{3 * S}$$

- C_r : relación de capacidad

$$C_r = \frac{1}{C_p}$$

- C_{pk} : Índice de capacidad de un centro de proceso

Indicador de la capacidad real de un proceso que se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso y su interpretación se muestra en la **Tabla 6**.

$$C_{pk} = \frac{\text{mínimo} \{(USL - \bar{x}) \text{ o } (\bar{x} - LSL)\}}{3 * \sigma}$$

Tabla 6

Valores del C_{pk} y su interpretación

| Valor del C_{pk} | Interpretación |
|--------------------|--|
| $C_{pk} \leq C_p$ | C_{pk} y C_p (son muy próximos) eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares. |
| $C_{pk} < C_p$ | (C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p) significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p . |
| $C_{pk} > 1.25$ | En un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que $C_{pk} > 1.45$. |
| $C_{pk} \leq 0$ | Indica que la media del proceso está fuera de las especificaciones. |

Nota: Referencia (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2013)

- C_{pm} : Índice de Taguchi

El índice de Taguchi similar al Cpk que, en forma simultánea, toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso. La mejora de un proceso según Taguchi debe estar orientada a reducir su variabilidad alrededor del valor nominal, N, y no sólo para cumplir con especificaciones. Su interpretación se muestra en la **Tabla 7**.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau} = \frac{USL - LSL}{6 * \sqrt{S^2 + (\bar{x} - N)^2}}$$

Tabla 7
Valores del C_{pm} y su interpretación

| Valor del C_{pm} | Interpretación |
|--------------------|--|
| $C_{pm} < 1$ | El proceso no cumple con especificaciones, ya sea por problemas de centrado o por exceso de variabilidad. |
| $C_{pm} > 1$ | El proceso cumple con especificaciones y, en particular, que la media del proceso está dentro de la tercera parte media de la banda de las especificaciones. |
| $C_{pm} \geq 1.33$ | El proceso cumple con especificaciones, pero además la media del proceso está dentro de la quinta parte central del rango de especificaciones. |

Nota: Referencia (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2013)

3. La grafica de movimiento individual (X) y la de rangos (R).

Las gráficas de control permiten observar y analizar el comportamiento y la variabilidad del proceso a través del tiempo así poder tomar acciones con el objetivo de evitar o minimizar las variaciones.

4. Las reglas de la estabilidad y capacidad del Proceso definidas en este proyecto para saber si el producto se encuentra en control , como se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8
Reglas de estabilidad y capacidad del proyecto

| Regla | Descripción |
|-------|---|
| 1 | 1 punto está fuera de 3 desviaciones estándar de la línea central. |
| 2 | 7 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central. |
| 3 | 6 puntos consecutivos todos crecientes o todos decrecientes. |
| 4 | 14 puntos en una fila (consecutivos) alternados arriba y abajo. |
| 5 | 2 de 3 puntos consecutivos > 2 desviaciones estándar de la línea central (mismo lado). |
| 6 | 4 de 5 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central (mismo lado). |
| 7 | 15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (en ambos lado). |
| 8 | 8 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central (a cada lado). |

Nota: Referencia (Daimler Chrysler Corporation, 2005)

2.1.3. Fundamentos y aplicación del entorno grafico LabView®

Para el desarrollo del proyecto en el entorno grafico del Labview se dividió en dos partes:

Parte 1: curso de LabView con apoyo del libro LabView, Entorno gráfico de programación (Jóse Rafael Lajara y José Pelegrí Sebastía, 2018).

Parte 2: aplicación del proyecto bajo el entorno gráfico de LabView ® de acuerdo a la selección de fórmulas definidas en el capítulo **2.1.2. Fundamentos y aplicación de estadística** parte 2.

3. Metodología

3.1 Actividades

Para alcanzar los objetivos de este proyecto se usa el método analítico ya que partiremos de los datos estructurados de los archivos de datos generados por el sistema de Recolección de datos y las actividades se describe a continuación:

- a) Inscripción al curso de Estadística como se detalla en el capítulo **2.1.2. Fundamentos y aplicación de estadística.**
- b) Curso del entorno gráfico Labview como se detalla en el capítulo **2.1.3. Fundamentos y aplicación del entorno grafico LabView®.**
- c) Diseño y desarrollo del software de análisis estadístico del proceso como se describe en el capítulo **3.2 Procedimiento para el diseño del software.**
- d) Validación del software de análisis estadístico a través de las pruebas en el modo manual y con el software, como se describe en el capítulo **3.3 Diseño de la prueba.**
- e) Resultados de análisis, como se describe en el capítulo **4. Resultados**

Los archivos de datos se estructuran para ser usados en dos proyectos como se muestra en la **Figura 8.**

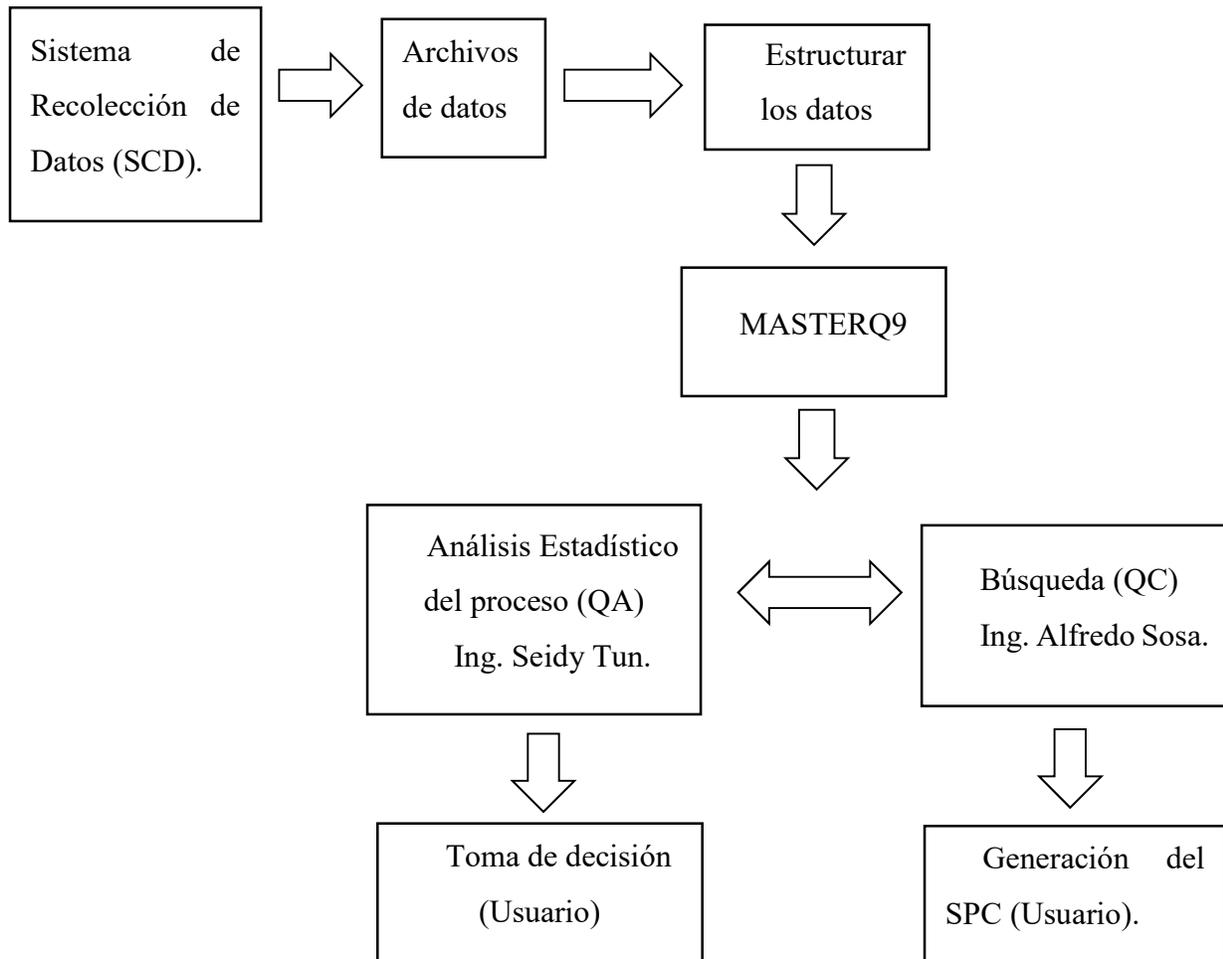


Figura 8. Diagrama a bloques del proyecto

Descripción del MASTERQ9:

El programa general se denomina MMASTERQ9 y se divide en dos proyectos. La estructura de los archivos de datos es la relación entre los dos proyectos, esto permite la manipulación de la información en el modo automático.

Modo Búsqueda (QC) bajo la tesis de “Desarrollo de herramienta computacional para el sistema de recolección de datos para industria de manufactura”.

Como se mencionó en capítulos previos las piezas tienen una etiqueta 2D y pasan por el lector de etiquetas antes de ser chequeado en el sistema de recolección de datos, en el archivo de datos se registra el valor de medición y si la pieza pasó o no paso la prueba definida. En este modo denominada búsqueda el usuario puede localizar la información de la pieza de modo automático así también el inspector escanea la etiqueta de las piezas de acuerdo a la cantidad de inspección por lote con esto se reduce el tiempo de búsqueda de piezas y de la inspección final del producto.

Modo Análisis Estadístico del proceso (QA) bajo la tesis de “Software de análisis estadístico para la industria manufacturera”.

3.2 Procedimiento para el diseño del software

El diseño se compone por el panel frontal que es la interfaz del usuario para el VI (Instrumentos virtuales) y diagrama a bloques contiene el código de la fuente gráfica para controlar los objetos del panel frontal.

3.2.1 Diseño del Diagrama a bloques

El diagrama a bloques general corresponde a la selección de fórmulas definidas en el capítulo **2.1.2. Fundamentos y aplicación de estadística**, como se muestra en la **Figura 9** y se divide en cuatro secciones.

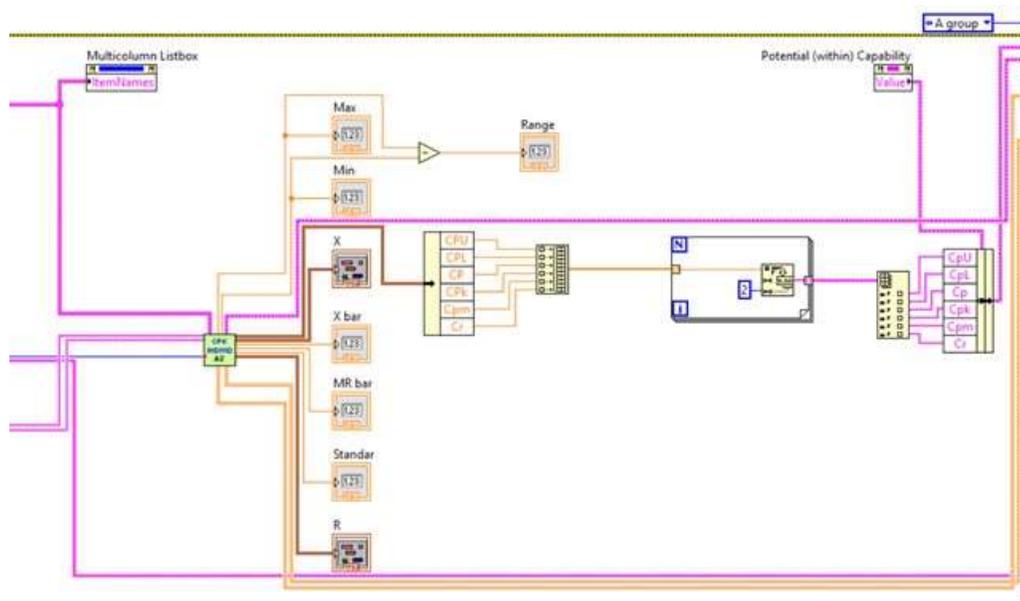


Figura 9. Diagrama a bloques

1. Datos individuales y Rango

El diagrama a bloques (código fuente) se visualiza lo siguiente, como se muestra en la

Figura 9.

- \bar{X} = el promedio del grupo de datos
- Max: valor máximo del grupo de datos
- Min: valor mínimo del grupo de datos
- Standard: es la desviación estándar
- Range: rango.
- MR_{bar} : el promedio de los rangos del grupo de datos
- UCL_X y LCL_X es límite superior e inferior respectivamente para el gráfico de control \bar{X} , como se muestra en la **Figura 10** y el factor A_2 para el grafico \bar{X} se toman de la **Tabla 4**. Sin embargo, se generó un arreglo general para facilitar la búsqueda como se muestra en la **Figura 11**

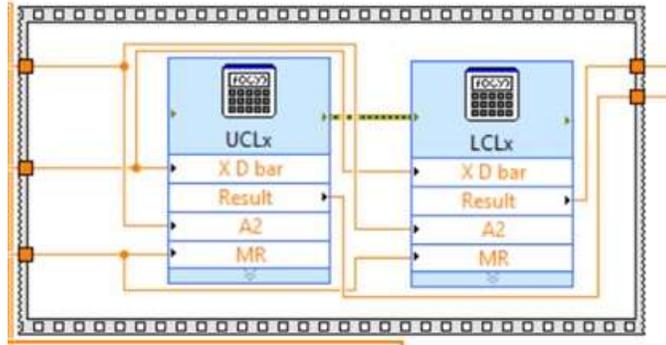


Figura 10. Diagrama de los límites de Control para el gráfico X

chart for averages

| | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 2 | 2.121 | 1.88 | 2.659 | 0.7979 | 1.2533 | 0 | 3.267 | 0 | 2.606 |
| 0 | 3 | 1.732 | 1.023 | 1.954 | 0.8862 | 1.1284 | 0 | 2.588 | 0 | 2.276 |
| | 4 | 1.5 | 0.729 | 1.628 | 0.9213 | 1.0854 | 0 | 2.266 | 0 | 2.088 |
| | 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.94 | 0 | 0 | 2.089 | 0 | 1.964 |
| | 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.9515 | 1.051 | 0.03 | 1.97 | 0.029 | 1.874 |
| | 7 | 1.134 | 0.419 | 1.182 | 0.9594 | 1.0423 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 |
| | 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.965 | 1.0363 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 |
| | 9 | 1 | 0.337 | 1.032 | 0.9693 | 1.0317 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 |
| | 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.9727 | 1.0281 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 |
| | 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.9754 | 1.0252 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 |
| | 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.9776 | 1.0229 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.61 |
| | 13 | 0.832 | 0.249 | 0.85 | 0.9794 | 1.021 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 |
| | 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.981 | 1.0194 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 |
| | 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.9823 | 1.018 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 |
| | 16 | 0.75 | 0.212 | 0.763 | 0.9835 | 1.0168 | 0.448 | 1.552 | 0.44 | 1.526 |
| | 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.9845 | 1.0157 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 |
| | 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.9854 | 1.0148 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 |
| | 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.9862 | 1.014 | 0.497 | 1.503 | 0.49 | 1.483 |
| | 20 | 0.671 | 0.18 | 0.68 | 0.9869 | 1.0133 | 0.51 | 1.49 | 0.504 | 1.47 |
| | 21 | 0.655 | 0.173 | 0.663 | 0.9876 | 1.0126 | 0.523 | 1.477 | 0.516 | 1.459 |
| | 22 | 0.64 | 0.167 | 0.647 | 0.9882 | 1.0119 | 0.534 | 1.466 | 0.528 | 1.448 |
| | 23 | 0.626 | 0.162 | 0.633 | 0.9887 | 1.0114 | 0.545 | 1.455 | 0.539 | 1.438 |
| | 24 | 0.612 | 0.157 | 0.619 | 0.9892 | 1.0109 | 0.555 | 1.445 | 0.549 | 1.429 |
| | 25 | 0.6 | 0.153 | 0.606 | 0.9896 | 1.0105 | 0.565 | 1.435 | 0.559 | 1.42 |

Figura 11. Factores para la construcción el gráfico X

- UCLR el límite superior de control para el gráfico R definido en el diagrama a bloques bajo el nombre de fórmula 4, como se muestra en la **Figura 12**.
- LCLR el límite de control inferior para el gráfico R definido en el diagrama a bloques bajo el nombre de fórmula 5, como se muestra en la **Figura 12**. Los factores D_3 y D_4 para el gráfico R se muestra en la **Figura 13**.

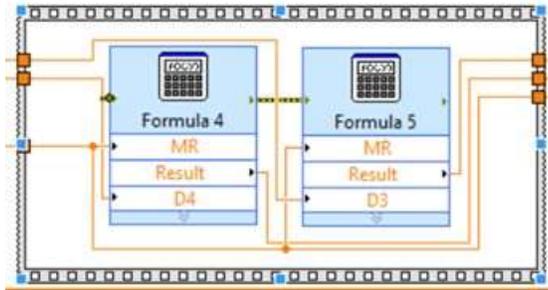


Figura 12. Diagrama de los límites de Control para el gráfico R

chart for Ranges

| | | | | | | | | | |
|---|----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 2 | 1.128 | 0.8865 | 0.853 | 0 | 3.686 | 0 | 3.267 | 2.66 |
| 0 | 3 | 1.693 | 0.5907 | 0.888 | 0 | 4.358 | 0 | 2.574 | 1.772 |
| | 4 | 2.059 | 0.4857 | 0.88 | 0 | 4.698 | 0 | 2.282 | 1.457 |
| | 5 | 2.326 | 0.4299 | 0.864 | 0 | 4.918 | 0 | 2.114 | 1.29 |
| | 6 | 2.534 | 0.3946 | 0.848 | 0 | 5.078 | 0 | 2.004 | 1.184 |
| | 7 | 2.704 | 0.3698 | 0.833 | 0.204 | 5.204 | 0.076 | 1.924 | 1.109 |
| | 8 | 2.847 | 0.3512 | 0.82 | 0.388 | 5.306 | 0.136 | 1.864 | 1.054 |
| | 9 | 2.97 | 0.3367 | 0.808 | 0.547 | 5.393 | 0.184 | 1.816 | 1.01 |
| | 10 | 3.078 | 0.3249 | 0.797 | 0.687 | 5.469 | 0.223 | 1.777 | 0.975 |
| | 11 | 3.173 | 0.3152 | 0.787 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 | 0.945 |
| | 12 | 3.258 | 0.3069 | 0.778 | 0.922 | 5.594 | 0.283 | 1.717 | 0.921 |
| | 13 | 3.336 | 0.2998 | 0.77 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 | 0.899 |
| | 14 | 3.407 | 0.2935 | 0.763 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 | 0.881 |
| | 15 | 3.472 | 0.288 | 0.756 | 1.203 | 5.741 | 0.347 | 1.653 | 0.864 |
| | 16 | 3.532 | 0.2831 | 0.75 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 | 0.849 |
| | 17 | 3.588 | 0.2787 | 0.744 | 1.356 | 5.82 | 0.378 | 1.622 | 0.836 |
| | 18 | 3.64 | 0.2747 | 0.739 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.608 | 0.824 |
| | 19 | 3.689 | 0.2711 | 0.734 | 1.487 | 5.891 | 0.403 | 1.597 | 0.813 |
| | 20 | 3.765 | 0.2677 | 0.729 | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 | 0.803 |
| | 21 | 3.778 | 0.2647 | 0.724 | 1.605 | 5.951 | 0.425 | 1.575 | 0.794 |
| | 22 | 3.819 | 0.2618 | 0.72 | 1.659 | 5.979 | 0.434 | 1.566 | 0.786 |
| | 23 | 3.858 | 0.2592 | 0.716 | 1.71 | 6.006 | 0.443 | 1.557 | 0.778 |
| | 24 | 3.895 | 0.2567 | 0.712 | 1.759 | 6.031 | 0.451 | 1.548 | 0.77 |
| | 25 | 3.931 | 0.2544 | 0.708 | 1.806 | 6.056 | 0.459 | 1.541 | 0.763 |

Figura 13. Factores para la construcción el gráfico R

2. Capacidad o habilidad de un proceso.

El diagrama a bloques se muestra en la **Figura 9** y **Figura 14**.

- C_pU el índice de capacidad superior definido en el diagrama a bloques bajo el nombre de fórmula 2.

- C_{pL} el índice de capacidad inferior definido en el diagrama a bloques bajo el nombre de fórmula 3.
- C_p el índice de capacidad definido en el diagrama a bloques bajo el nombre de fórmula 1.

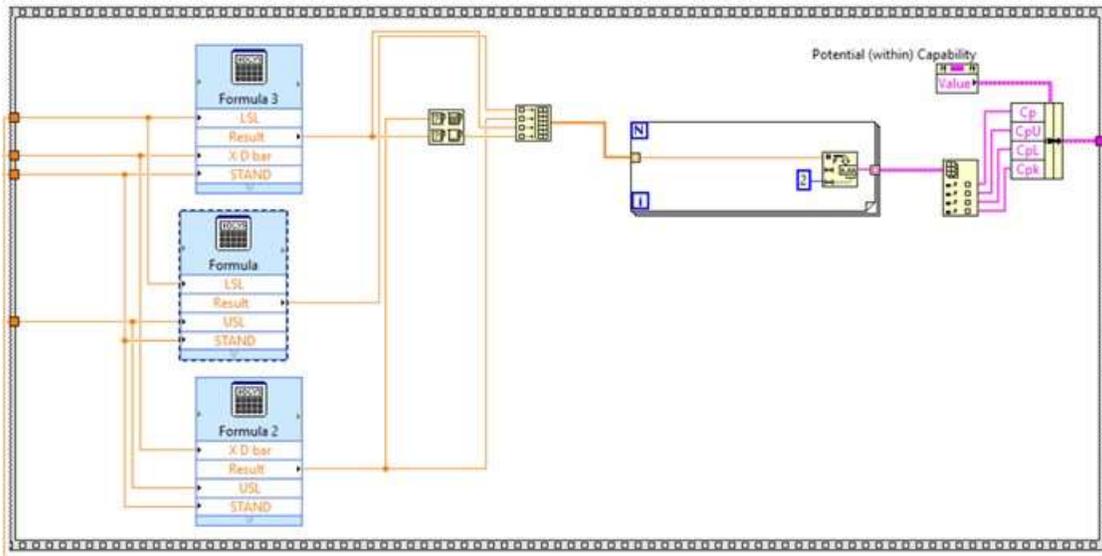


Figura 14. Diagrama a bloques para los índices de capacidad

- C_r : relación de capacidad.
 - C_{pm} : Índice de Taguchi.
 - C_{pk} : Índice de capacidad de un centro de proceso.
3. La gráfica de movimiento individual y de rangos.
 4. Las reglas de la “Estabilidad y capacidad del Proceso” para el proyecto se muestra en la

Figura 15.

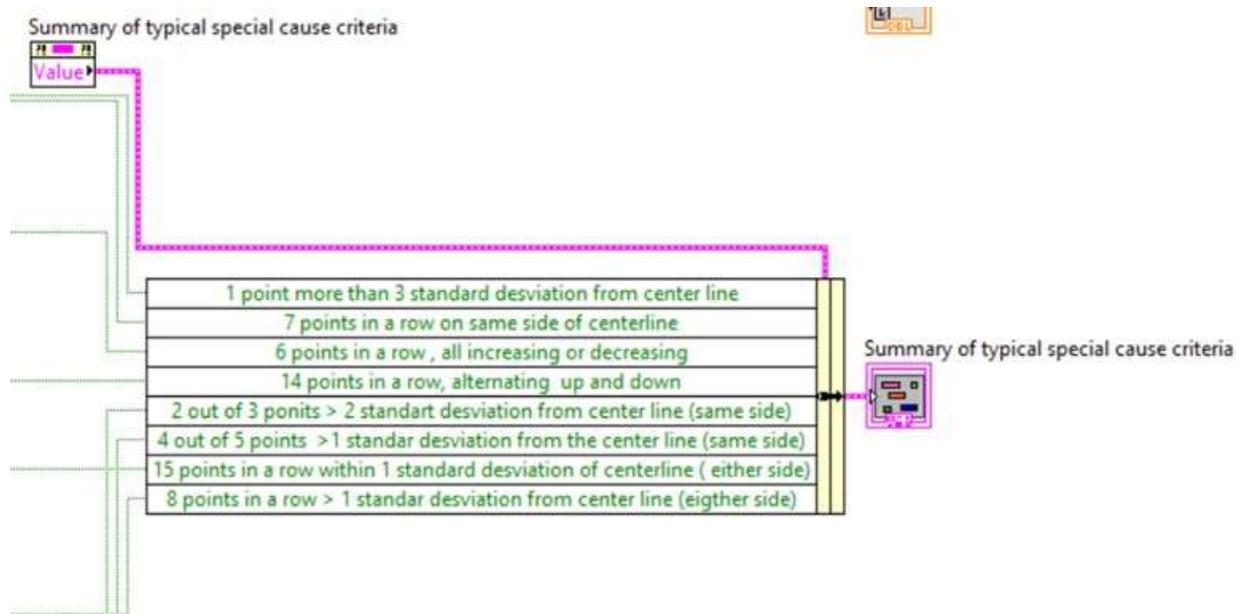


Figura 15: Reglas de estabilidad y capacidad del proyecto

3.2.2 Diseño del panel frontal o interfaz del usuario

Se diseñó el panel frontal o interfaz del usuario del software de análisis estadístico, el cual se divide en seis secciones como se muestra en la **Figura 16**.

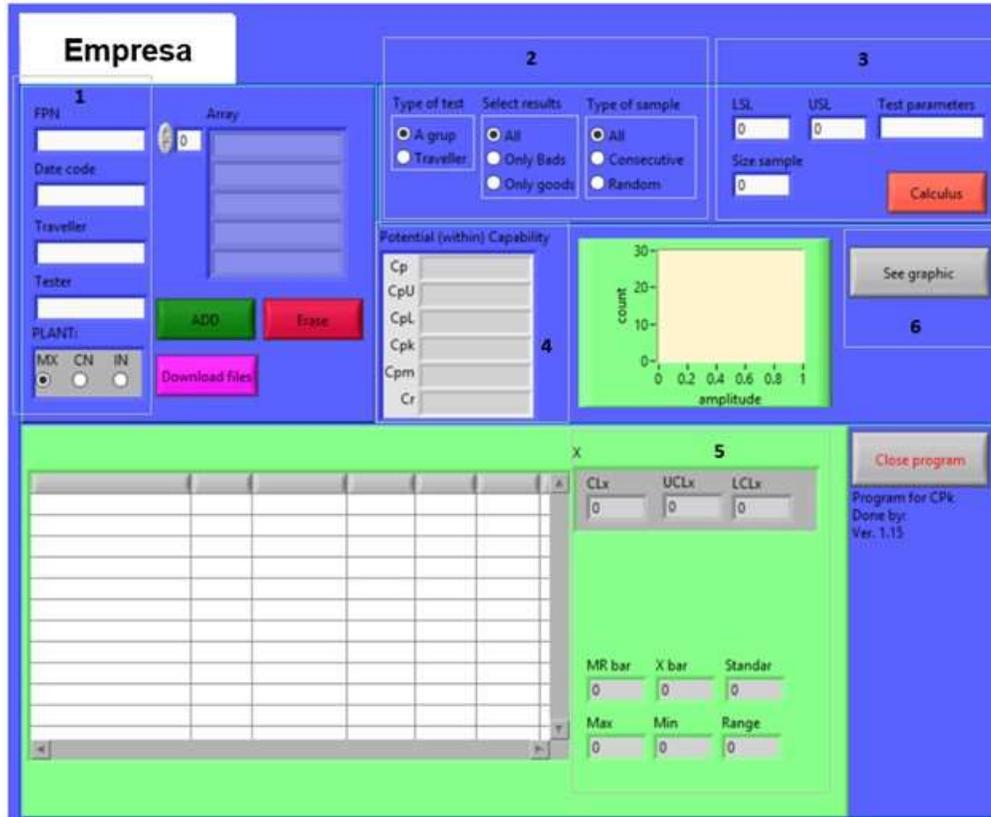


Figura 16. Panel frontal o interfaz del usuario del software

1. Número de parte a analizar

En esta sección el usuario carga o habilita la siguiente información, como se muestra en la

Figura 17.

- a) Número de parte a analizar (FPN),
- b) Código de fecha de producción (Date code),
- c) Hoja viajera (Traveller),
- d) Prueba (Tester)
- e) Planta (MX, CN o IN)

Figura 17. Sección número de parte a analizar

2. Selección del análisis

En esa sección el usuario realiza selección de los datos a analizar cómo se muestra en la **Figura**

18.

- a) Tipo de prueba (Type of test): si la prueba se realiza en un grupo de datos o hojas viajeras.
- b) Selección de resultados (Select result): el tipo de datos a analizar, el archivo generado por el sistema de recolección datos contiene información de todas las piezas checada (All), malas (Bad) y buenas (Good).
- c) El tipo de muestras (Type of samples): si toma todos los datos (All), datos consecutivos (Consecutive) o al azar (Random).

Figura 18. Sección selección del análisis

3. Parámetro y muestra

En esa sección el usuario ingresa los parámetros del número de parte como se muestra en la

Figura 19.

- a) LSL: límite inferior especificado,
- b) USL: límite superior especificado,
- c) Parámetro de prueba (Test parameters): el tipo de prueba a analizar del número de parte, (inducción, resistencia a corriente directa, voltaje, amperaje, resistencia a corriente alterna, etc.).
- d) Tamaño de la muestra (Size sample): el programa por default carga todos los valores del archivo generado por el sistema de recolección de acuerdo a la selección previa en 2c sin embargo el usuario puede cambiarlo a un tamaño en específico.

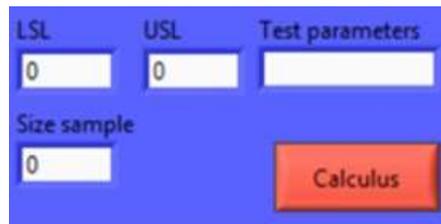


Figura 19. Sección Parámetro y muestra

4. Capacidad o habilidad del proceso

En esta sección el usuario visualiza los resultados de los índices de capacidad del proceso como se muestra en la **Figura 20**.

- a) C_p
- b) C_{pU}
- c) C_{pL}
- d) C_{pk}
- e) C_{pm}

f) C_r

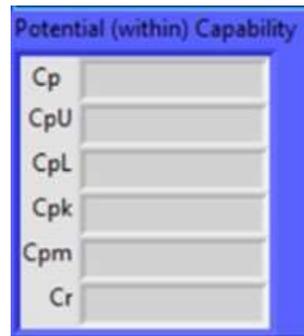


Figura 20. Sección índice de capacidad de procesos

5. Datos individuales y Rango

En esta sección el usuario visualiza los resultados de los datos individuales y rango del proceso como se muestra en la **Figura 21**.

- a) CL_X ,
- b) UCL_X
- c) LCL_X
- d) MR_{bar}
- e) \bar{X}
- f) Max ,
- g) Min ,
- h) Standar (la desviación estándar),
- i) Range (el rango).

X

| | | |
|-----|------|------|
| CLx | UCLx | LCLx |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|--------|-------|---------|
| MR bar | X bar | Standar |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|-----|-----|-------|
| Max | Min | Range |
| 0 | 0 | 0 |

Figura 21. Sección datos individuales y Rango

6a. La grafica de movimiento individual y la de rangos

En esta sección el usuario visualiza los gráficos individuales y rango del proceso como se muestra en la **Figura 22** y **Figura 23**.



Figura 22. Sección grafica de movimiento individual



Figura 23. Sección grafica de rangos

6b. Las reglas de la Estabilidad y capacidad del Proceso

En esta sección el usuario visualiza las regla de estabilidad y capacidad del Proceso que cumple el producto como se muestra en la **Figura 24**. Cuando se habilita uno de los botones indica una no conformidad del proceso.

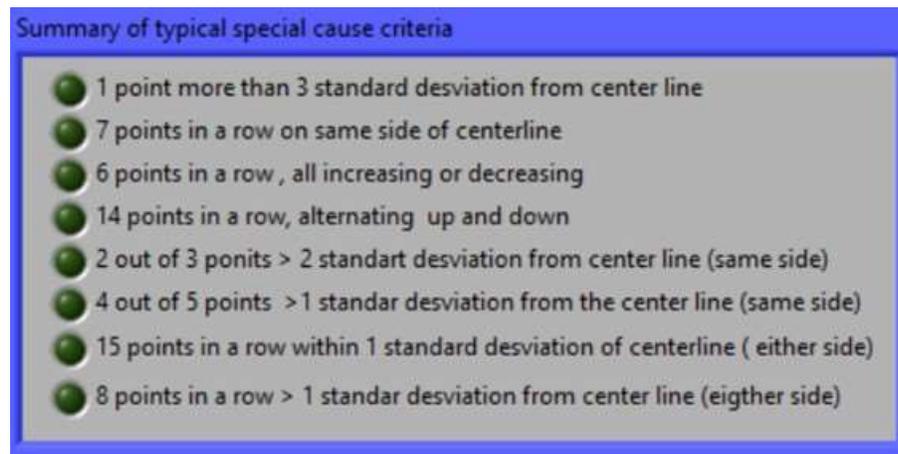


Figura 24. Sección regla de estabilidad y capacidad de proceso

3.3 Diseño de la prueba

Para el diseño de la prueba experimental en modo manual y con el software, se definió las siguientes condiciones:

1. Parámetro a analizar: la resistencia en DC (DCR),
2. Número de parte:
 - a) FFFF54 con código de producción 1930 y hoja viajera 33142.
Límite inferior y superior de especificación: 80.75 y 89.25 Ω respectivamente.
 - b) FFFF55 con código de producción 1930 y hoja viajera 32801.
Límite inferior y superior de especificación: 5.03 y 5.56 Ω respectivamente
3. Cantidad de lecturas a analizar: 100 y 300 respectivamente.
4. Número del usuario que realizo la prueba: 2459.
5. Monitoreo del tiempo: cronometro

3.3.1 Análisis en el modo manual

En esta sección del documento se detalla los pasos necesarios para llevar a cabo el análisis en modo manual para las 100 y 300 piezas.

El primer paso es solicitar el archivo al Departamento de Desarrollo de software los siguientes archivos FFFF54_1930_33142_01_data_gdp y FFFF55_1930_32801_01_data_gdp.

3.3.1.1 Análisis en el modo manual para 100 piezas

Procedimiento para realizar el análisis de 100 de las lecturas de 100 piezas

1. Abrir el archivo FFFF54_1930_33142 en el Excel.
2. Abrir la forma SPCDATA.
3. Llenar los encabezados como se muestra en la **Figura 25**.

| | | | | | |
|-----------|--------------|------------|----------|-------|-------|
| FPN/Rev: | FFFF54 / C10 | TRAVELLER: | 33142 | INSP: | |
| Datecode: | 1930 | Date: | | | |
| Test: | DCR | Units: | Ω | LSL: | 80.75 |
| | | AQL: | 0.25 | USL: | 89.25 |
| | | QTY_LOTE: | | SAMP: | 100 |

Figura 25. Encabezado de la forma

4. Copiar las lecturas FFFF54_1930_33142, 60 lecturas por columna hasta completar los 100 datos, como se muestra en la **Figura 26**.

| | | | | | | | | | | |
|----|---------|----|----|---------|----|-----|--|-----|--|-----|
| 1 | 86.4270 | OK | 61 | 86.8220 | OK | 121 | | 181 | | 241 |
| 2 | 86.8850 | OK | 62 | 86.9400 | OK | 122 | | 182 | | 242 |
| 3 | 87.1480 | OK | 63 | 86.5300 | OK | 123 | | 183 | | 243 |
| 4 | 86.5660 | OK | 64 | 87.1470 | OK | 124 | | 184 | | 244 |
| 5 | 86.9260 | OK | 65 | 86.7190 | OK | 125 | | 185 | | 245 |
| 6 | 87.0670 | OK | 66 | 86.8360 | OK | 126 | | 186 | | 246 |
| 7 | 87.0100 | OK | 67 | 86.9830 | OK | 127 | | 187 | | 247 |
| 8 | 86.9520 | OK | 68 | 86.8650 | OK | 128 | | 188 | | 248 |
| 9 | 86.6870 | OK | 69 | 87.1320 | OK | 129 | | 189 | | 249 |
| 10 | 87.0140 | OK | 70 | 86.7630 | OK | 130 | | 190 | | 250 |

Figura 26. Lecturas en la forma

5. En la hoja denominada "IMR se tiene el resultado del análisis de datos individuales y rango como se muestra en la **Figura 27**.

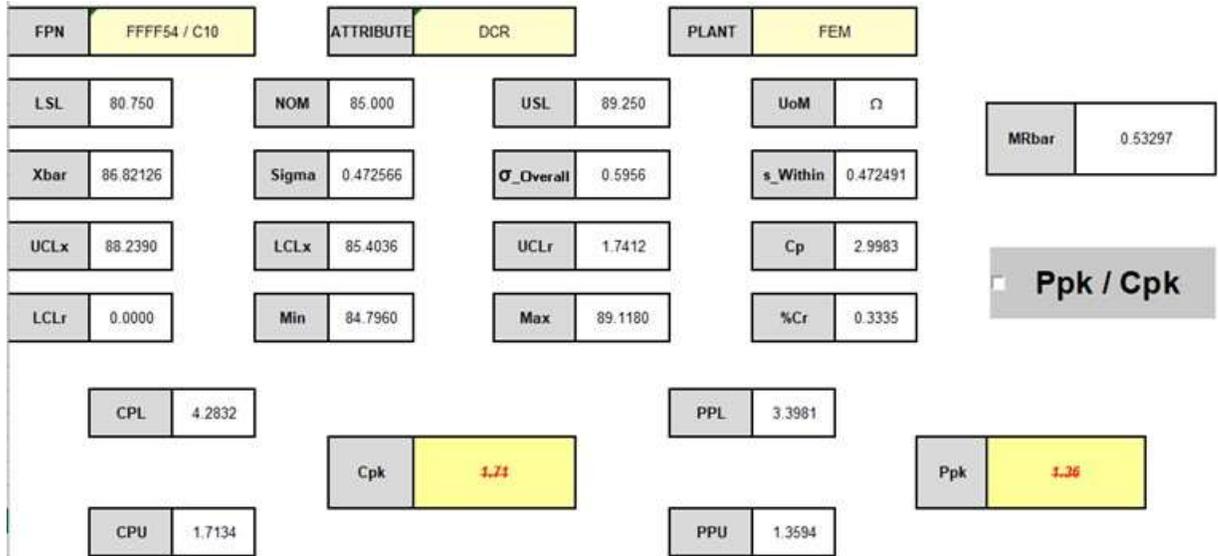


Figura 27. Resultado de datos individuales y Rango

6. En la hoja denominada “IMR”, se visualiza el grafico de movimiento individual para 100 piezas como se muestra en **Figura 28**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico X se puede ver que 3 lecturas están fuera de los límites de control superior y 4 están fuera del límite de control inferior.

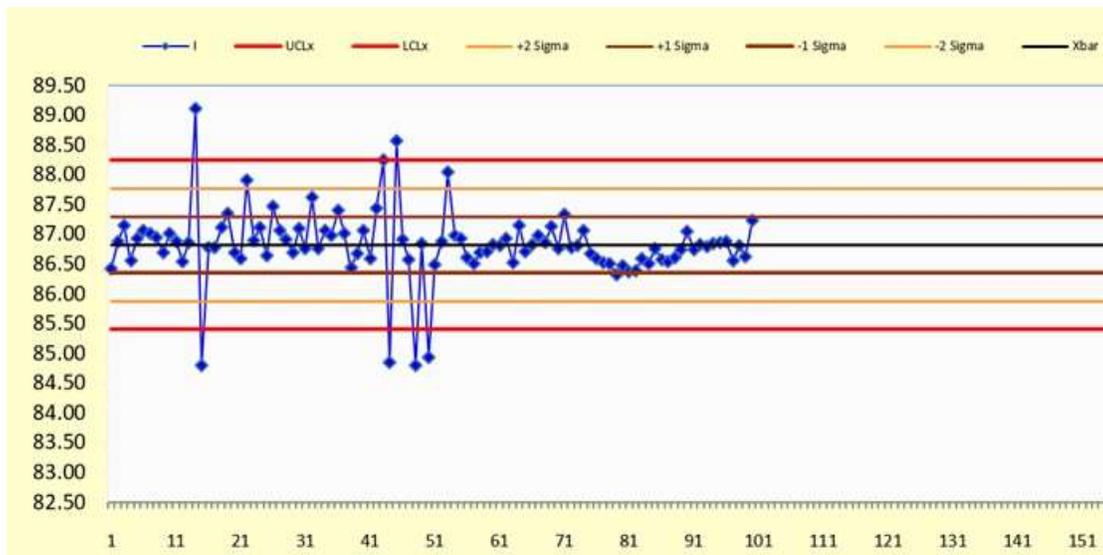


Figura 28. Gráfico de movimiento individual

7. En la hoja denominada “IMR”, se visualiza el grafico del rango 100 piezas como se muestra en la **Figura 29**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico R se puede ver que 8 lecturas están fuera de los límites de control superior.

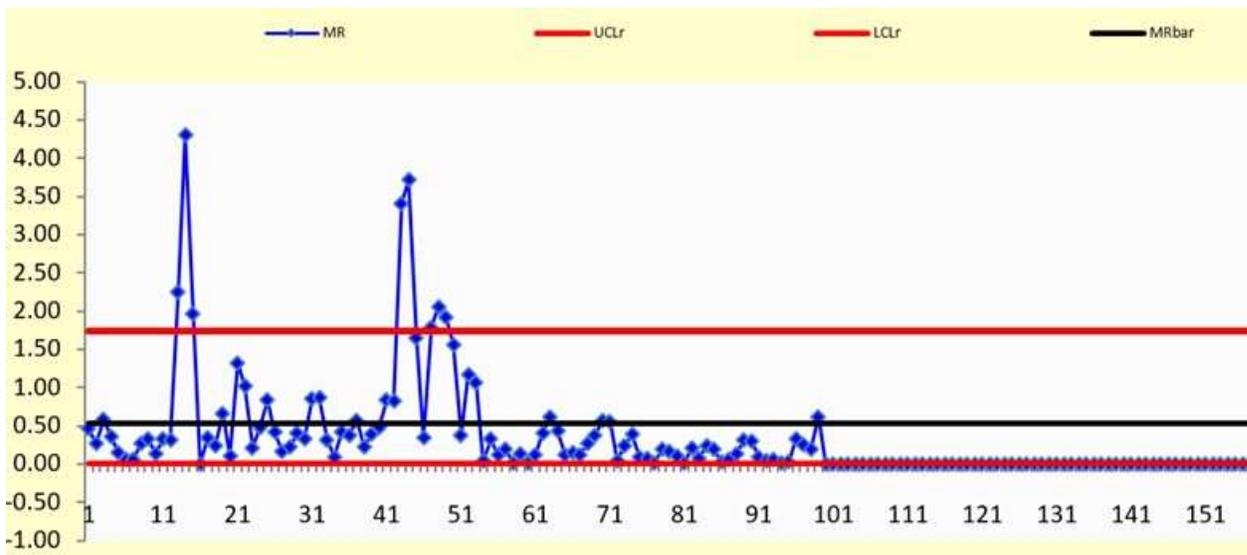


Figura 29. Gráfico de movimiento del rango

8. Resultado de la estabilidad del proceso como se muestra en la **Figura 30**.

| PROCESS STABILITY | | +σ | -σ |
|-------------------|---|----|----|
| Rule 1 | 1 or more points outside the control limits in Graph I | 3 | 4 |
| Rule 2 | | | |
| Rule 3 | | | |
| Rule 4 | | | |
| Rule 5 | 1 or more points outside the control limits in Graph MR | 8 | |

Figura 30. Resultado de la estabilidad del proceso

Para facilitar la interpretación de la gráfica X y R el formato evalúa 5 reglas de las cuales las lecturas de las 100 piezas fallan:

- a) La regla 1 (uno o más puntos están fuera de los límites de control del gráfico individual): indica 3 lecturas fuera del límite de control superior y 4 lecturas están fuera del límite de control inferior.
- b) La regla 5 (uno o más puntos estas fuera de los límites de control del gráfico MR): indica 8 lecturas fuera del límite de control.

El tiempo de ejecución más tiempo de solicitud de los archivos

100 piezas: 0 horas 2 minutos 31 segundos + 4 horas 26 minutos = 4 horas 57 minutos 31 segundos,

3.3.1.2 Análisis en el modo manual para 300 piezas

Procedimiento para realizar el análisis de 300 de las lecturas de 100 piezas

1. Abrir el archivo FFFF55_1930_32801 en el Excel.
2. Abrir la forma SPCDATA.
3. Llenar los encabezados como se muestra en la **Figura 31**.

| | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------------|------------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| FPN/Rev: | <input type="text" value="FFFF55"/> | TRAVELLER: | <input type="text" value="32801"/> | INSP: | <input type="text"/> |
| Datecode: | <input type="text" value="1930"/> | Date: | <input type="text"/> | | |
| Test: | <input type="text" value="DCR"/> | Units: | <input type="text" value="Ω"/> | LSL: | <input type="text" value="5.03"/> |
| | | AQL: | <input type="text" value="0.25"/> | QTY LOTE: | <input type="text"/> |
| | | | | USL: | <input type="text" value="5.56"/> |
| | | | | SAMP: | <input type="text" value="300"/> |

Figura 31. Encabezado de la forma

4. Copiar las lecturas FFFF55_1930_3280, 60 lecturas por columna hasta completar los 300 datos, como se muestra en la **Figura 32**.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|----|----|--------|----|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|--------|----|
| 1 | 5.2960 | OK | 61 | 5.2710 | OK | 121 | 5.3630 | OK | 181 | 5.2980 | OK | 241 | 5.3390 | OK |
| 2 | 5.3090 | OK | 62 | 5.3880 | OK | 122 | 5.2740 | OK | 182 | 5.2970 | OK | 242 | 5.2810 | OK |
| 3 | 5.3050 | OK | 63 | 5.3370 | OK | 123 | 5.3410 | OK | 183 | 5.4060 | OK | 243 | 5.3630 | OK |
| 4 | 5.3720 | OK | 64 | 5.3230 | OK | 124 | 5.2870 | OK | 184 | 5.2430 | OK | 244 | 5.2950 | OK |
| 5 | 5.3120 | OK | 65 | 5.3050 | OK | 125 | 5.4340 | OK | 185 | 5.2820 | OK | 245 | 5.3610 | OK |
| 6 | 5.2940 | OK | 66 | 5.3490 | OK | 126 | 5.2740 | OK | 186 | 5.3000 | OK | 246 | 5.3170 | OK |
| 7 | 5.3220 | OK | 67 | 5.3280 | OK | 127 | 5.2620 | OK | 187 | 5.3640 | OK | 247 | 5.2760 | OK |
| 8 | 5.3560 | OK | 68 | 5.2890 | OK | 128 | 5.3310 | OK | 188 | 5.2580 | OK | 248 | 5.3350 | OK |
| 9 | 5.3660 | OK | 69 | 5.3190 | OK | 129 | 5.3380 | OK | 189 | 5.3130 | OK | 249 | 5.3260 | OK |
| 10 | 5.3060 | OK | 70 | 5.2980 | OK | 130 | 5.2150 | OK | 190 | 5.3830 | OK | 250 | 5.3440 | OK |

Figura 32. Lecturas en la forma

5. En la hoja denominada “IMR se tiene el resultado del análisis de datos individuales y rango como se muestra en la **Figura 33**.

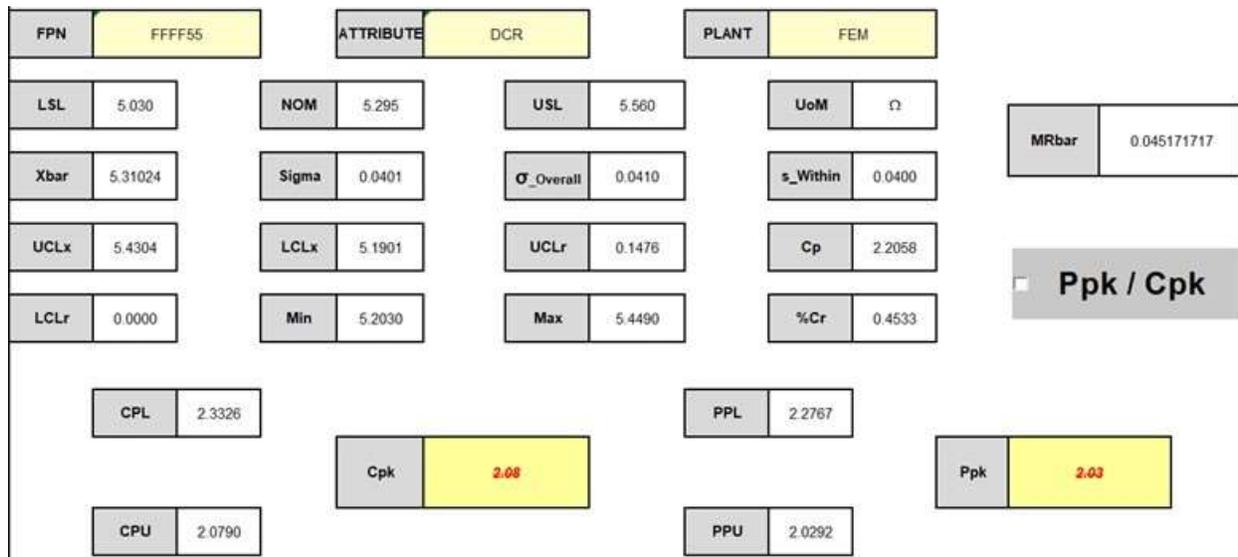


Figura 33. Resultado de datos individuales y Rango

6. En la hoja denominada “IMR”, se visualiza el grafico de movimiento individual para 300 piezas como se muestra en la **Figura 34**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico X se puede ver que 4 lecturas están fuera de los límites de control superior.

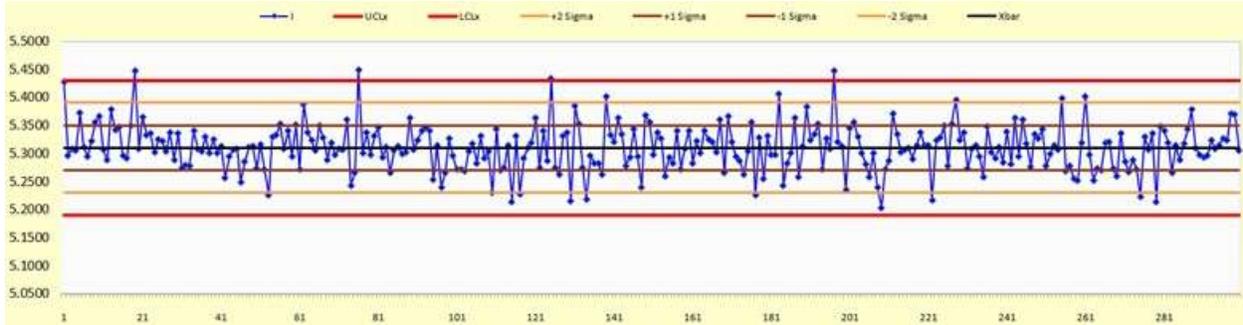


Figura 34. Gráfico de movimiento individual

7. En la hoja denominada “IMR”, se visualiza el grafico del rango 300 piezas como se muestra en la **Figura 35**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico R se puede ver que 4 lecturas están fuera de los límites de control superior.

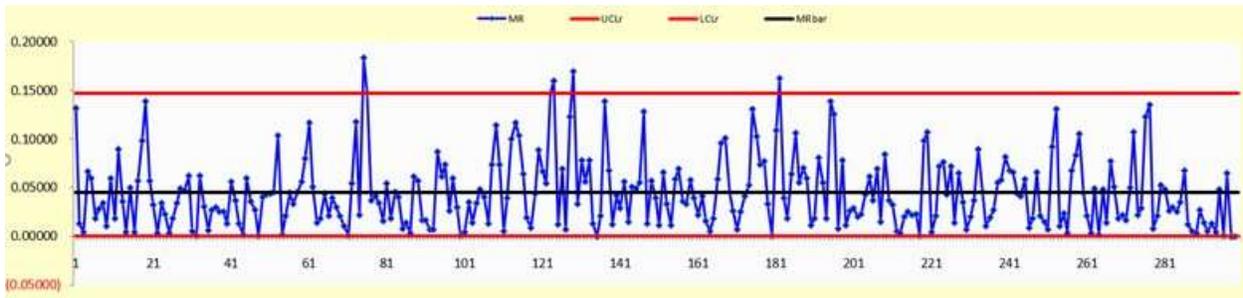


Figura 35. Gráfico de movimiento del rango

8. Resultado de la estabilidad del proceso como se muestra en la **Figura 36**.

| PROCESS STABILITY | | + σ | - σ |
|-------------------|---|-----|-----|
| Rule 1 | 1 or more points outside the control limits in Graph I | 4 | |
| Rule 2 | | | |
| Rule 3 | | | |
| Rule 4 | | | |
| Rule 5 | 1 or more points outside the control limits in Graph MR | 2 | |

Figura 36. Resultado de la estabilidad del proceso

Para facilitar la interpretación de la gráfica X y R el formato evalúa 5 reglas de las cuales las lecturas de las 300 piezas fallan:

- a) La regla 1 (uno o más puntos estas fuera de los límites de control del gráfico individual): indica 4 lecturas fuera del límite de control superior
- b) La regla 5 (uno o más puntos estas fuera de los límites de control del gráfico MR): indica 2 lecturas fuera del límite de control sin embargo el grafico muestra 4.

El tiempo de ejecución más tiempo de solicitud de los archivos

300 piezas: 0 horas 4 minutos 4 segundos + 4 horas 26 minutos = 4 horas 30 minutos 4 segundos.

3.3.2 Análisis con el software

En esta sección se detalla los pasos para llevar acabo el análisis con el software, para las 100 y 300 piezas.

1. Abrir el programa MasterQ9.vi e ir a la sección QA, se despliega el panel del usuario como se muestra en la **Figura 37**.

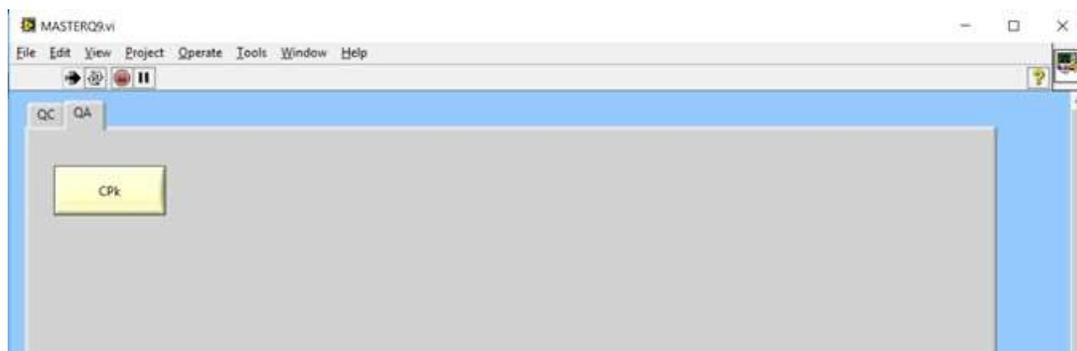


Figura 37. Panel del usuario

2. Presionar el botón “CPK” se despliega el panel del usuario para el análisis como se muestra en la **Figura 38**.

The screenshot shows a software interface for statistical analysis. The title bar reads "Empresa". The interface is organized into several functional areas:

- Input Fields:** FPN, Date code, Traveller, and Tester.
- PLANT:** Radio buttons for MX, CN, and IN, and a "Download files" button.
- Test Configuration:** "Type of test" (A grup, Traveller, Only Bads, Only goods), "Type of sample" (All, Consecutive, Random), and "Size sample".
- Calculation:** A "Calculus" button.
- Capability Analysis:** "Potential (within) Capability" section with a list of metrics (Cp, CpU, CpL, Cpk, Cpm, Cr) and a "See graphic" button.
- Graph:** A plot of "count" vs "amplitude".
- Data Table:** A table with columns for CLx, UCLx, LCLx, MR bar, X bar, Standar, Max, Min, and Range.
- Footer:** "Close program" button and "Program for CPK Done by: Ver. 1.15".

Figura 38. Panel de análisis estadístico

3.3.2.1 Análisis con el software para 100 piezas

1. Llenar el encabezado con la información del número de parte a análisis y presionar el botón “ADD”.
2. Presionar el botón “Download files” y presionar “OK” se carga el archivo del número de parte seleccionado, como se muestra en la **Figura 39**.

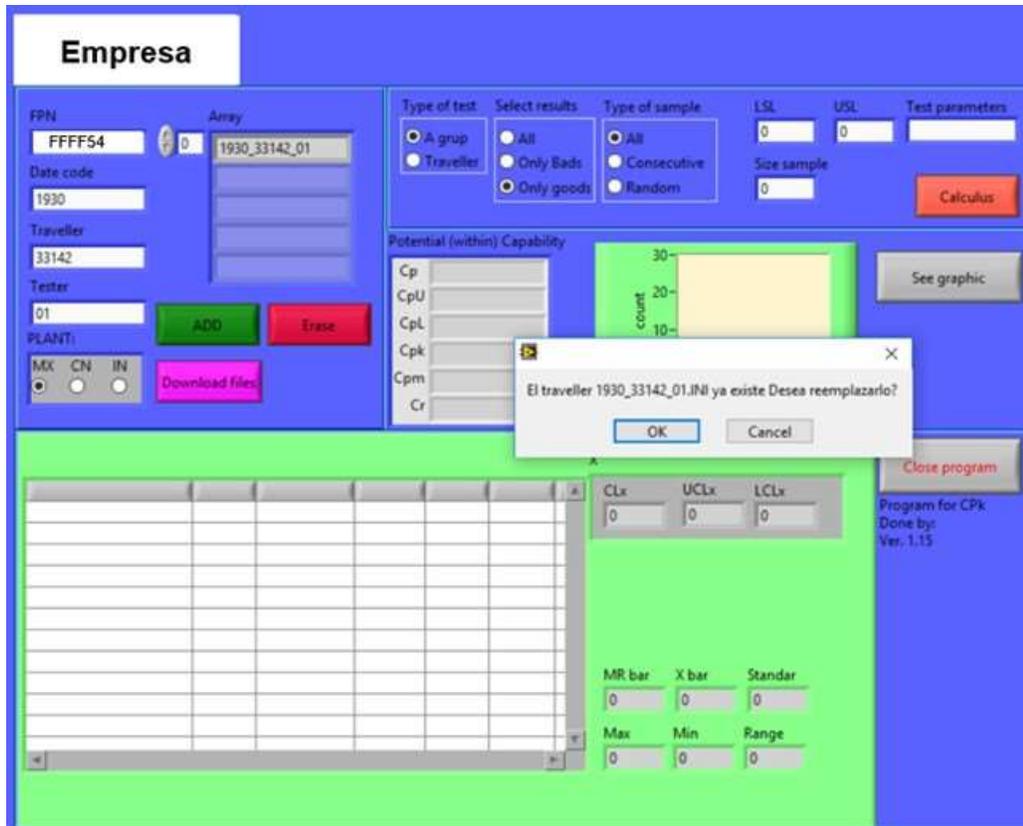


Figura 39. Carga el archivo

3. Para el análisis se habilita el tipo de prueba, “Only goods” (Solo buenas) el tipo de muestras “All”, como se muestra en la **Figura 40**.
4. Llenar las casillas del límite inferior, límite superior y el tipo de prueba, ver **Figura 40**.

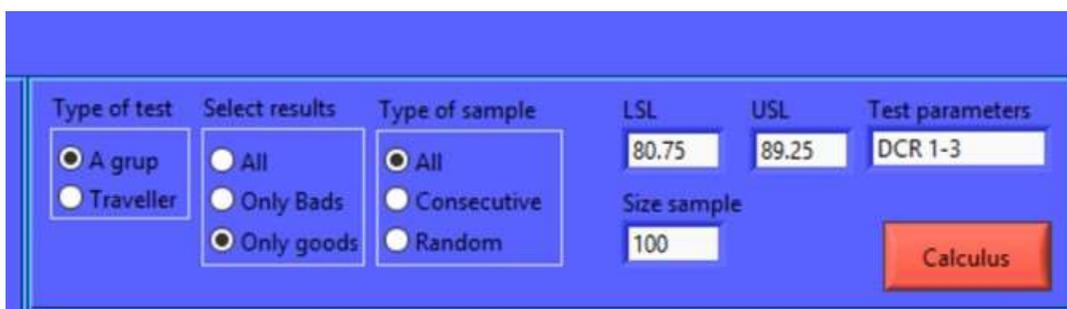


Figura 40. Selección de la prueba y llenar los parámetros

5. Presionar el botón “Calculus” y se despliega la siguiente pantalla como se muestra en la **Figura 41**.

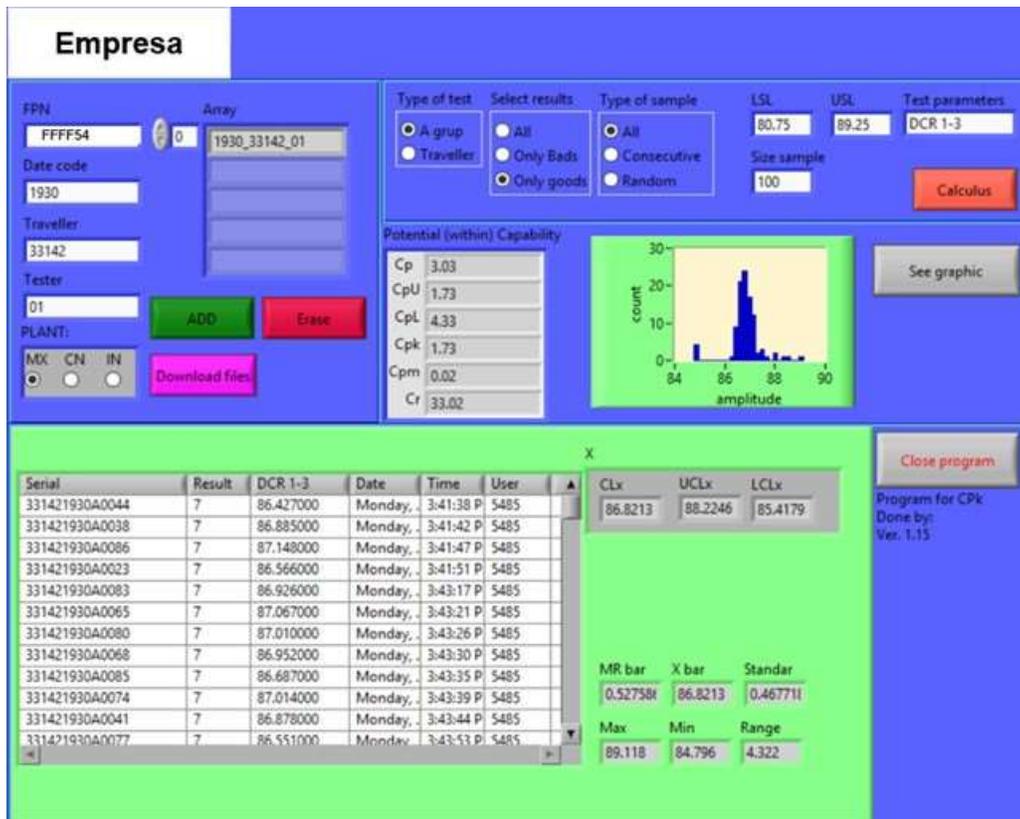


Figura 41. Resultado del análisis

6. Presionar el botón “see graphic” para desplegar los gráficos de movimiento y rangos como se muestra en la **Figura 42** y **Figura 43**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico X se puede ver que 2 lecturas están fuera de los límites de control superior, una está en el límite de control superior y 4 están fuera del límite de control inferior.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico R se puede ver que 8 lecturas están fuera de los límites de control superior.

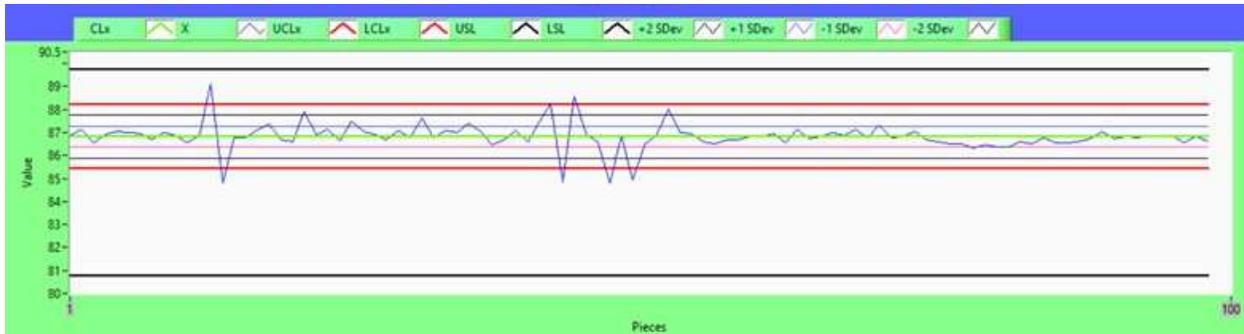


Figura 42. Gráfico de movimientos individuales

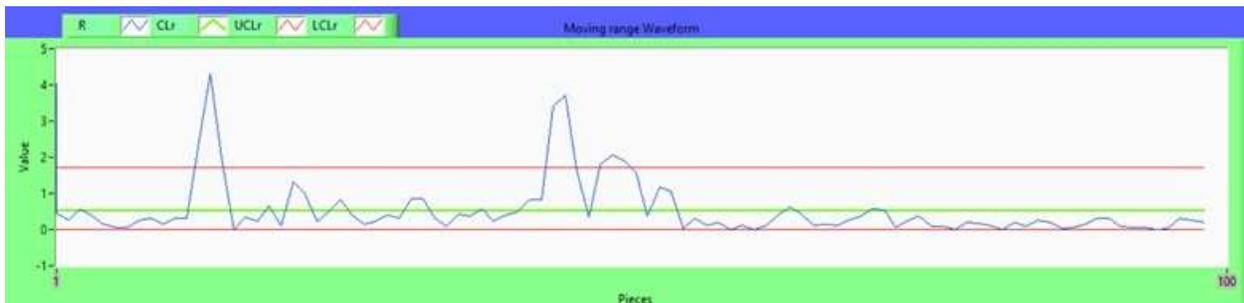


Figura 43. Gráfico de Rangos

7. Se despliega ocho reglas para analizar el gráfico de movimientos individuales y establecer si el proceso se encuentra fuera de control como se muestra en la **Figura 44**.

Para facilitar la interpretación de la gráfica X se habilita las reglas no conformes:

- a) La regla 1 (1 punto está fuera de 3 desviaciones estándar de la línea central)
- b) La regla 2 (7 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central).
- c) La regla 5 (2 de 3 puntos consecutivos > 2 desviaciones estándar de la línea central [mismo lado])
- d) La regla 6 (4 de 5 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central [mismo lado])

- e) La regla 7 (15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central [en ambos lados]).
- f) La regla 8 (8 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central [a cada lado]).

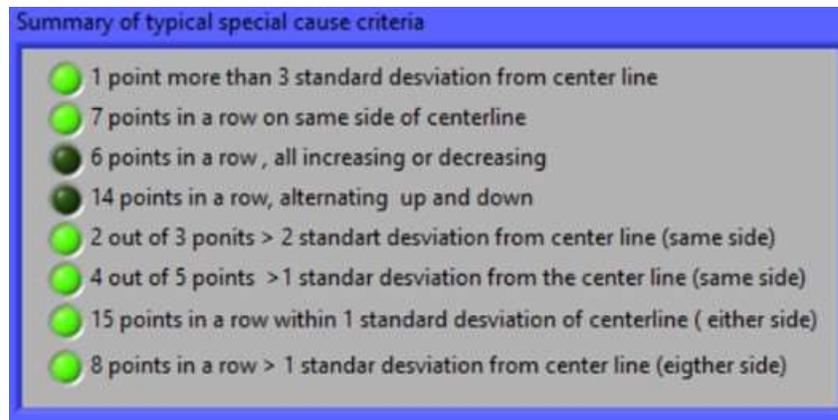


Figura 44. Resultados del proceso

Tiempo de ejecución:

100 piezas: 1 minuto 18 segundos.

3.3.2.2 Análisis con el software para 300 piezas

1. Llenar el encabezado con la información del número de parte a análisis y presionar el botón “ADD”.
2. Presionar el botón “Download files” y presionar “OK” se carga el archivo del número de parte seleccionado, como se muestra en la **Figura 45**.

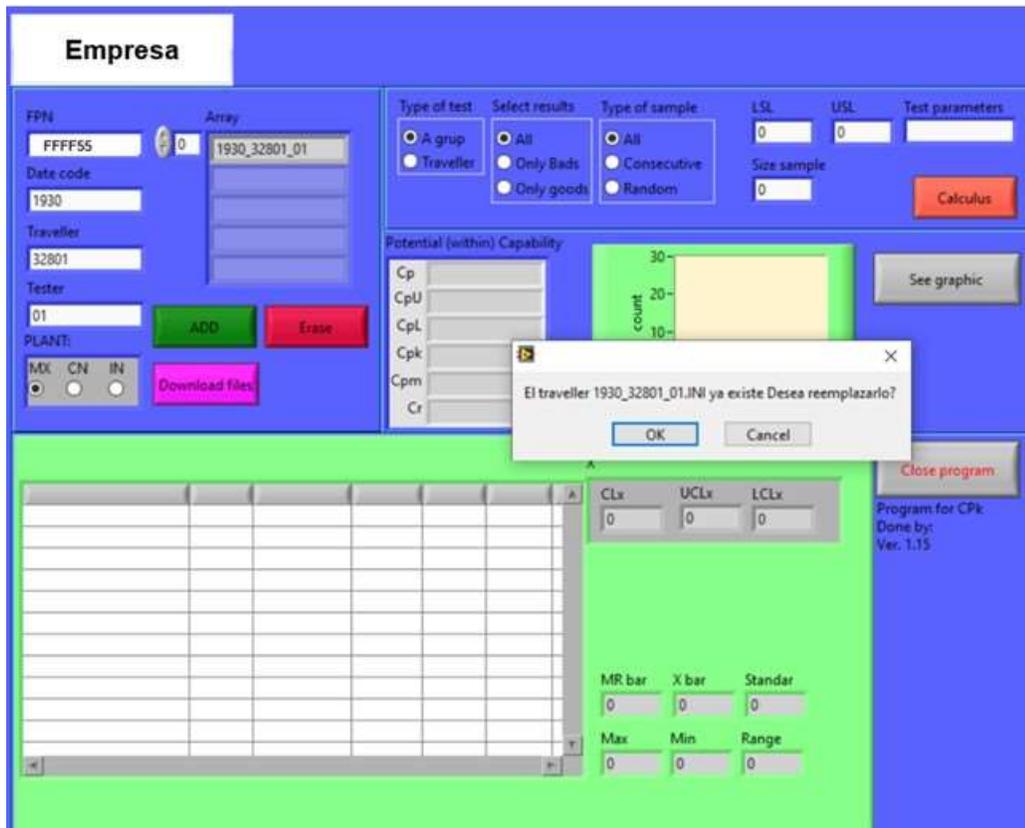


Figura 45. Carga el archivo

3. Para el análisis se habilita el tipo de prueba, “Only goods” (Solo buenas) el tipo de muestras “All”, como se muestra en la **Figura 46**.
4. Llenar las casillas del límite inferior, límite superior y el tipo de prueba, ver **Figura 46**.

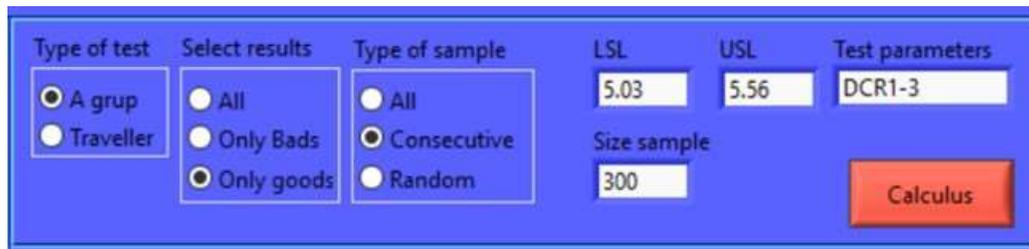


Figura 46. Selección de la prueba y llenar los parámetros

5. Presionar el botón “Calculus” y se despliega la siguiente pantalla como se muestra en la **Figura 47**.

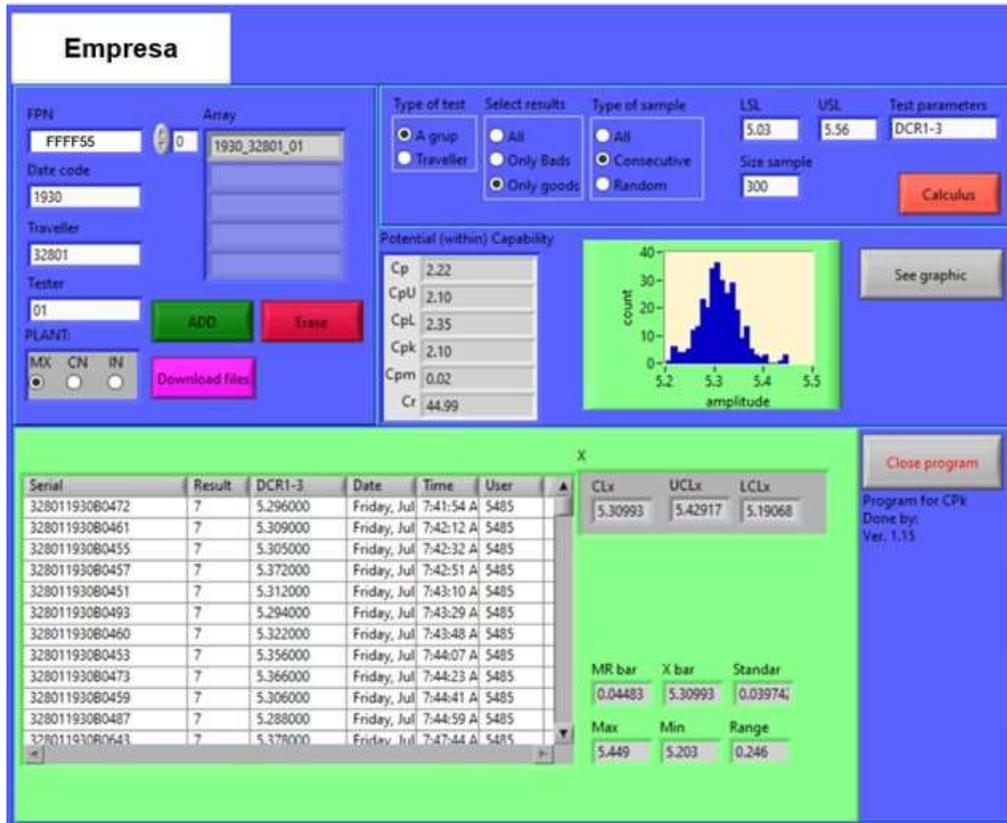


Figura 47. Resultado del análisis

6. Presionar el botón “see graphic” para desplegar los gráficos de movimiento y rangos como se muestra en la **Figura 48** y **Figura 49**.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico X se puede ver que 4 lecturas están fuera de los límites de control superior.

La interpretación del resultado de acuerdo al grafico R se puede ver que 4 lecturas están fuera de los límites de control superior.



Figura 48. Gráfico de movimientos individuales

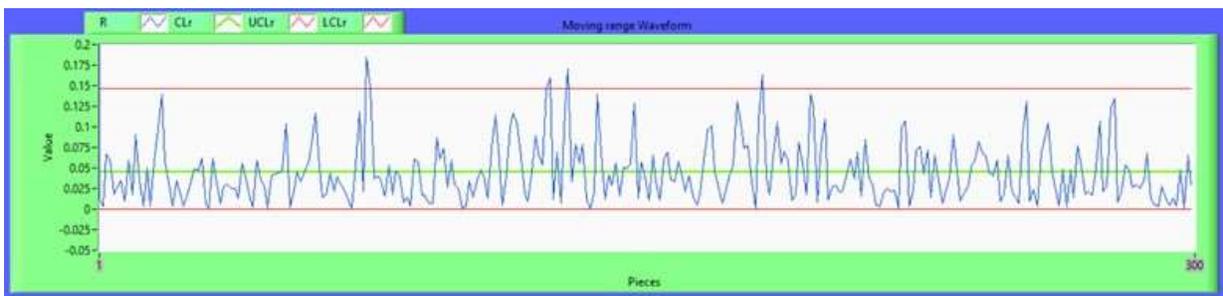


Figura 49. Gráfico de Rangos

7. Se despliega las ocho reglas para analizar el gráfico de movimientos individuales y establecer si el proceso se encuentra fuera de control como se muestra en la **Figura 50**.

Para facilitar la interpretación de la gráfica X se habilita las reglas no conformes:

- a) La regla 1 (1 punto está fuera de 3 desviaciones estándar de la línea central)
- b) La regla 2 (7 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central).
- c) La regla 5 (2 de 3 puntos consecutivos > 2 desviaciones estándar de la línea central [mismo lado])
- d) La regla 7 (15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central [en ambos lados]).

- e) La regla 8 (8 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central [a cada lado]).

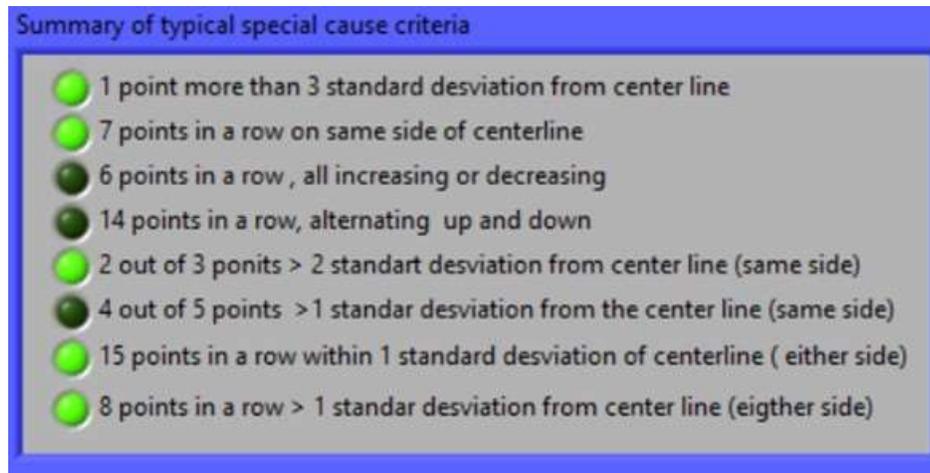


Figura 50. Resultados del proceso

Tiempo de ejecución:

300 piezas: 2 minuto 31 segundos

3.4 Requerimiento para el software

El hardware mínimo requerido para software estadístico es Windows 7, Service pack 1, procesador Core 2 Dúo. El software en ejecución con un integrante como se muestra en la **Figura 51**.



Figura 51. Usuario

4. Resultados

4.1 Resultados del Análisis

4.1.1 Resultados del tiempo en el análisis entre el modo manual y el software

El resultado del tiempo de análisis entre el modo manual y el software según la cantidad piezas se reduce significativamente como muestra en la **Tabla 9**.

Con la reducción del tiempo del análisis estadístico el grupo multifuncional puede analizar, interpretar y determinar las acciones a implementar en la línea de producción en tiempo y forma.

Tabla 9

Resultado en tiempo entre el modo manual y el software

| Piezas | Manual | Software | Reducción |
|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| 100 | 4:25:31 | 0:01:18 | 4:24:13 |
| 300 | 4:30:31 | 0:02:31 | 4:28:00 |

4.1.2 Resultados de las variables en el Análisis entre el modo manual y el software

Se determinó realizar el análisis entre las variables del software y el modo manual solo para las 100 lecturas de las piezas.

El resultado del análisis de capacidad entre el modo manual y el software tiene una ligera variación como muestra en la **Tabla 10**.

Esta diferencia se debe a que los índices de capacidad involucran al X_{bar} y a la desviación estándar (S) pero la desviación estándar involucra a MR_{bar} y estas diferencias en los valores son acumulativas, como se detalla más adelante.

Tabla 10*Resultado de la capacidad entre el modo manual y el software*

| Variable | Manual | Software | Diferencia (valor) |
|----------|--------|----------|--------------------|
| C_p | 2.9983 | 3.03 | 0.1083 |
| C_{pU} | 1.7134 | 1.73 | 0.0166 |
| C_{pL} | 4.2832 | 4.33 | 0.0468 |
| C_{pk} | 1.7134 | 1.73 | 0.0166 |
| C_{pm} | - | 0.002 | - |
| C_r | - | 33.02 | - |

El resultado del análisis para los límites del gráfico de datos individuales entre el modo manual y el software se muestra en la **Tabla 11**.

La diferencia en los límites de control se debe al arrastre de los decimales definido en la Xbar.

Tabla 11*Resultado comparativo de los límites en datos individuales*

| Variable | Manual | Software | Diferencia (valor) |
|----------|---------|----------|--------------------|
| CL_x | - | 86.8213 | - |
| UCL_x | 88.2390 | 88.2246 | 0.0144 |
| LCL_x | 85.4036 | 85.4179 | 0.0143 |

El resultado del análisis para el cálculos para las variables del rango entre el modo manual y el software como muestra en la **Tabla 12**.

La diferencia de:

MRbar se debe por perdida de un dato en el arreglo en modo automático.

Xbar: se debe a la diferencia de dígitos a visualizar, así como la definición de cuantos decimales usar en modo automático.

Las variaciones en el programa del software se realizarán antes de la migración al sistema principal.

Tabla 12

Resultado comparativo para las variables del rango

| Variable | Forma | Software | Diferencia (valor) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| MR_{bar} | 0.53297 | 0.527586 | 0.01024 |
| X_{bar} | 86.82126 | 86.8213 | 0.00004 |
| Range | - | 4.322 | - |

El resultado del análisis para los cálculos de diferentes variables entre el modo manual y el software se muestra en la **Tabla 13**.

La diferencia de la desviación estándar se debe al resultado del MR_{bar} como se menciona previamente ya que por la definición de la fórmula es MR_{bar} entre d₂.

Tabla 13

Resultado comparativo para las diferentes variables

| Variable | Forma | Software | Diferencia (valor) |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Standard | 0.472566 | 0.467718 | 0.0004848 |
| Max | 89.118 | 89.118 | 0.000 |
| Min | 84.796 | 84.796 | 0.000 |

5. Conclusiones

Con el análisis realizado entre el modo manual y el software con diferentes números de partes se alcanzó una reducción del tiempo de ejecución del análisis estadístico entre el modo manual y estadístico. Esto se traduce en la disponibilidad de los resultados del análisis de capacidad de una línea.

Como se muestra en la **Tabla 14** y en el capítulo **4.1 Resultados del Análisis** la disponibilidad de los resultados entre modo manual y automático (software) se reduce:

Tabla 14

Resultado en tiempo entre el modo manual y el software

| Piezas | Manual | Software | Reducción |
|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| 100 | 4:25:31 | 0:01:18 | 4:24:13 |
| 300 | 4:30:31 | 0:02:31 | 4:28:00 |

Con los resultados de las variables, el gráfico de movimiento X y R, así como el resumen desplegado en el panel del usuario ayudan a determinar las acciones a tomar por el grupo multidisciplinario.

La Empresa implementó el software de análisis estadístico en las tres plantas como prueba piloto y en un corto tiempo migrara el software a su sistema principal ya que los resultados fueron satisfactorios.

6. Trabajo a futuro

Como el software de análisis estadístico tiene una diferencia entre los resultados con el modo manual presentados en el capítulo **4. Resultados**. Estos se realizarán antes de la migración al sistema principal de La Empresa, así como agregar un resumen para el rango que mostrará cuantas lecturas están fuera de los límites de control.

Referencias

- Besterfield, D. H. (2009). *Control de calidad* (Octava ed.). (L. M. Castillo, Ed.) México: Pearson Prentice Hall.
- Daimler Chrysler Corporation, F. M. (2005). *Statistical Process Control (SPC)* (Second ed., Vol. III).
- Empresa, L. (2013). *CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS*. Mexico: F.E.
- Empresa, L. (2013). *INSPECCION POR ATRIBUTOS*. Mexico: F.E.
- Empresa, L. (2017). *INSPECCIÓN DE ENTRADA DE MATERIALES*. Mexico: F.E.
- Empresa, L. (2017). *PROCESOS DE APROBACIÓN DE PARTES DE PRODUCCIÓN (PPAP)*. Mexico: F.E.
- Empresa, L. (07 de November de 2018). *ANÁLISIS DE DATOS DE CONTROL DE PROCESOS ESTADÍSTICOS*. Mexico: F.E.
- Empresa, L. (2018). *INSPECCIÓN FINAL*. Mexico: F.E.
- Felix Brambringa, J. W. (2016). Improving data consistency in production control by adaptation of data mining algorithms. *9th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2016* (pág. 6). Aachen, Germany: ELSEVIER.
- Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma* (Tercera ed.). México: McGraw Hill.
- Jóse Rafael Lajara y Jóse Pelegrí Sebastía. (2018). *LabVIEW. Entorno gráfico de programación* (Tercera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Mexico, F. E. (7 de Noviembre de 2018). *ANÁLISIS DE DATOS DE CONTROL DE PROCESOS ESTADÍSTICOS. F2*.

- Michael S Packianathera, A. D. (2016). Data mining techniques applied to a manufacturing SME. *10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering* (pág. 6). Ischia, Italy: CIRP Conferences.
- P. Vazan, D. J. (2017). Using data mining methods for manufacturing process control. *ELSEVIER*, 6.
- Pulido, H. G. (2010). *Calidad total y productividad* (Tercera ed.). México: McGraw Hill.
- Uzielli, M. (2008). Statistical analysis of geotechnical data. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, 20.
- Zhang, Q.-Y. T.-X. (2013). Data Processing System (DPS) software with experimental with design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Science*, 7.

Apéndices

Glosario

(Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2013).

- Desviación estándar (S): Medida de la variabilidad que indica qué tan esparcidos están los datos con respecto a la media.
- Rango (R): medición de la variabilidad de un conjunto de datos que es resultado de la diferencia entre el dato mayor y el dato menor de tal conjunto.
- Media (\bar{x}): medida de tendencia central que es igual al promedio aritmético de un conjunto de datos, que se obtiene al sumarlos y el resultado se divide entre el número de datos.
- Índice de capacidad (C_p): indicador de la capacidad potencial del proceso que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso
- Índice C_r : indicador de la capacidad potencial del proceso que divide la amplitud de la variación natural de éste entre la variación tolerada.
- Índice C_{pk} : indicador de la capacidad real de un proceso que se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso.
- Índice C_{pm} : índice de Taguchi similar al C_{pk} que, en forma simultánea, toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso.