



Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica



# **Instituto Tecnológico de Orizaba**

## **División de Estudios de Posgrado e Investigación**

### **Maestría en Sistemas Computacionales**

**“Desarrollo de una herramienta informática para el análisis de defectos mediante gráficas de control estadístico, para variables en la producción de bienes/servicios.”**

**REPORTE DE TESIS QUE PRESENTA EL:**

I.S.C. Manuel Guarneros Rivera

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

Maestro en Sistemas Computacionales

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Hilarión Muñoz Contreras

## Índice general

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VIII</b>
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1.	
1.2. <b>Historia de los gráficos de control</b>	<b>1</b>
1.2.1.	
1.2.2. <b>Marco teórico</b>	<b>2</b>
1.2.2.1. Control estadístico de Calidad	2
1.2.3. Control estadístico de Procesos	2
1.2.4. Variabilidad en el Control estadístico de Procesos	3
1.2.5.	
1.2.5.1. Gráficos de Control	3
1.2.5.2. Límites de Especificación y de Control	5
1.2.5.3. Patrones en Gráficos de control	5
1.2.5.4.	
Patrón Natural	5
Patrón no Natural	6
Cíclico	6
Tendencia	7

	Desplazamiento	8
	Gráficas de control por variables	10
	Gráficas de control de medias $\bar{X}$	10
	Gráficas de control de rangos ( $R$ )	11
1.2.5.5.	Gráficas de control de desviaciones estándar ( $S$ )	12
1.2.6.	Gráficas de control de medianas ( $X$ )	13
1.2.6.1.		
1.2.6.2.	Lenguajes de programación con enfoque al análisis estadístico	13
1.2.6.3.	R	14
1.2.6.4.	Paquetes en R para el Desarrollo de aplicaciones con enfoque al análisis estadístico.	14
1.2.7.	Shiny	14
1.2.7.1.		
1.2.8.	Redes Neuronales	16
1.2.8.1.	Perceptrón Multicapa	16
1.2.9.	Algoritmo de Retro propagación	18
1.2.9.1.		
1.2.9.2.		
	<b>Planteamiento del problema</b>	<b>18</b>
1.3.		
	<b>Objetivo general y específico</b>	<b>19</b>
1.4.		
1.4.1.	Objetivo general	19
1.4.2.	Objetivos específicos	19
1.5.		
	<b>Justificación</b>	<b>20</b>
2.1.	<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DE LA PRÁCTICA</b>	<b>22</b>
2.2.	<b>Trabajos relacionados</b>	<b>22</b>
2.3.	<b>Análisis comparativo</b>	<b>27</b>
2.3.1.		
	<b>Propuesta de Solución</b>	<b>35</b>
3.1.	Solución Propuesta	35
3.1.1.		
3.1.	<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b>	<b>37</b>
	<b>Diseño de la herramienta</b>	<b>37</b>
	Arquitectura de desarrollo	38
	Modelo conceptual	39

	<b>Flujo de Trabajo</b>	<b>41</b>
	<b>Red Neuronal desarrollada</b>	<b>43</b>
	<b>Aplicación de R</b>	<b>46</b>
3.2.		
3.3.	<b>Aplicación de Shiny</b>	<b>47</b>
3.4.		
3.5.	<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b>	<b>50</b>
	<b>Casos de estudio</b>	<b>50</b>
	Caso de Estudio: Gráfico de Control $\bar{X} - R$	50
4.1.	Caso de Estudio: Gráfico de Control $\bar{X} - S$	58
4.1.1.		
4.1.2.		
	<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>63</b>
	<b>Conclusiones</b>	<b>63</b>
5.1.		
5.2.	<b>Recomendaciones</b>	<b>64</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>65</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Gráfica de Control	4
Figura 1.2 Límites en una gráfica de control	5
Figura 1.3 Patrón natural	6
Figura 1.4 Comportamiento cíclico	7
Figura 1.5 Tendencia creciente	8
Figura 1.6 Tendencia decreciente	8
Figura 1.7 Desplazamiento hacia abajo	9
Figura 1.8 Desplazamiento hacia abajo	9
Figura 1.9 Estructura de un Perceptrón multicapa	17
Figura 3.1 Arquitectura de desarrollo	38
Figura 3.3 Modelo conceptual ui.R	40
Figura 3.6 Estructura del clasificador propuesto.	44
Figura 3.7 Ejemplo de aplicación del lenguaje R en la herramienta.	46
Figura 3.8 Código de carga de archivo desarrollado para la herramienta	49
Figura 4.1 Vista principal	52
Figura 4.2 Carga de archivo .CSV	53
Figura 4.5 Resumen y Análisis generados en el gráfico $X - R$	56
Figura 4.7 Comparativa de gráficos $X - R$	57
Figura 4.8 Despliegue de los datos contenidos en el archivo .CSV para $X - S$	60
Figura 4.9 Gráfico $X - S$ generado a partir del archivo .CSV	60
Figura 4.10 Resumen y Análisis generados en el gráfico $X - S$	61
Figura 4.11 Gráfico $S$ generado a partir del archivo .CSV	61
Figura 4.12 Comparativa de gráficos $X - S$	62

## Lista de tablas

Tabla 1.1 Widgets básicos en Shiny	15
Tabla 2.1 Análisis comparativo de trabajos relacionados	28
Tabla 2.2 Análisis comparativo de trabajos relacionados con el reconocimiento de patrones	30
Tabla 3.1 Representación de las salidas deseadas de la red neuronal.	43
Tabla 3.2 Precisión de Reconocimiento del clasificador	45
Tabla 3.3 Matriz de confusión del clasificador (%)	45
Tabla 3.4 Widgets Shiny utilizados	47
Tabla 4.1 Mediciones de diámetro para gráfico $X - R$	50
Tabla 4.2 Mediciones de proceso para gráfico $X - S$	58

## **Resumen**

Las gráficas de control son una herramienta parte del Control Estadístico de Procesos (CEP), que se utiliza para analizar datos estadísticos de manera sofisticada, estas gráficas se utilizan cotidianamente en la manufactura, educación, gobierno e industrias de servicio.

Actualmente el CEP se encuentra en constante desarrollo desde su aparición en 1920 con Walter Shewart junto a su implementación manual, este desarrollo contribuyó en la agilización del tiempo de análisis de muchos procesos en los últimos años.

La mayoría del software que abordan el CEP existentes en el mercado son caros y cuentan con muchas aplicaciones que no son aprovechadas al máximo. Por todo lo anterior, en este trabajo se propone desarrollar una herramienta informática fácil de usar a todo aquel que tenga acercamiento al CEP para analizar el comportamiento de un proceso determinado que solo incluya las gráficas de control por variables.

## **Abstract**

Control charts are part of the Statistical Process Control (CEP), which are used to analyze statistical data in a sophisticated way, these charts are used daily in manufacturing, education, government and service industries.

Currently CEP is in constant development since its appearance in 1920 with Walter Shewart along with its manual implementation, this development contributed to the speed of analysis of many processes in recent years.

Most of the software that CEP addresses on the market are expensive and have many applications that are not fully exploited. For all of the above, in this paper we propose the development of an easy-to-use computer tool all that approach to the CEP to analyze the behavior of a given process that only includes control charts by variables.



## **Introducción**

El presente documento, muestra el trabajo de tesis llamado: “Desarrollo de una herramienta informática para el análisis de defectos mediante gráficas de control estadístico, para variables en la producción de bienes/servicios”; comenzando con un análisis de la necesidad de desarrollar una herramienta informática aplicada a las gráficas de control por variables y la capacidad de detección de defectos.

W.A Shewart determinó que todos los procesos están sujetos a variación, por lo que esta afecta disminuyendo la calidad debido a una ineficiencia. Como resultado, si se logra identificar la fuente de variación, se tendrán los elementos para tomar acciones necesarias para disminuir o eliminar la ineficiencia e incrementar la productividad.

El trabajo de tesis tiene como finalidad desarrollar una herramienta informática para el análisis de defectos mediante gráficas de control estadístico para variables, que ayude a encontrar y analizar la variabilidad en los procesos con respecto al control estadístico de calidad.

El documento consta de cuatro capítulos, en el primero de ellos se presentan los antecedentes cuya información consiste en mostrar una breve historia de los gráficos de control y la descripción y conceptos básicos de las tecnologías para dar solución al problema que aquí se plantea. En el segundo capítulo se describen los trabajos relacionados y desarrollados con la finalidad de conocer con qué tecnologías se desarrollan dichos proyectos y se describe una explicación de la propuesta de solución dada al problema que se plantea en este trabajo de tesis. En el tercer capítulo se hace mención a la arquitectura de la herramienta describiendo la funcionalidad de cada uno de sus elementos y en el cuarto capítulo se ejemplifican dos casos de uso que describen la utilidad de la herramienta.

## Capítulo 1. Antecedentes

En este capítulo se proporciona una breve historia de los gráficos de control, se explican los conceptos básicos relacionados con el proyecto, se continúa con el planteamiento del problema, seguido del objetivo general, los objetivos específicos y finalmente la justificación del desarrollo.

### Historia de los gráficos de control

1.1. Durante la segunda guerra mundial se requirieron cantidades masivas de productos, las inspecciones de rutina de los inspectores no eran suficientes, en algunas compañías, tales como la Western Electric estableció métodos de control de calidad más rigurosos que infundieran confianza en sus instrumentos y electrodomésticos, en 1924 formó su departamento de Ingeniería de Inspección, entre sus primeros miembros se encuentran H. F. Dodge, D. A. Qaurles, W. A. Shewhart, H. G. Romig, entre otros.

Según Duncan *“Walter Shewhart fue el primero en aplicar los gráficos de control en 1924 haciendo un esbozo del gráfico de control”* [1], como una alternativa a la inspección al producto terminado, su adopción en occidente fue muy lenta, esto se dio por *“la tendencia de los ingenieros americanos a eliminar la variación, así como a la falta de estadígrafos industriales, adecuadamente entrenados”*.

El trabajo de Shewhart, Dodge y Romig, constituye la mayor parte de lo que hoy se conoce como “Control estadístico de Procesos”. De esta forma con objeto de hacer más eficientes a las organizaciones de inspección, *“se proporciona a los inspectores con unas cuantas herramientas estadísticas, tales como cartas de control y tablas de muestreo”* [2]. Se reduce el nivel de variación del proceso hasta los límites predecibles y se identifican las oportunidades de mejora. Hoy en día la herramienta de gráficos de control es utilizada por los círculos de control de calidad para la identificación de problemas.

En 1931, W.A. Shewhart publica su libro *“Economic Quality Control of Quality of Manufactured Product”*, donde describe los gráficos para el control estadístico de procesos [3].

En medio de los años 30's los métodos de control estadístico de calidad se empezaron a aplicar en la Western Electric, sin embargo no fueron reconocidos estos métodos ampliamente.

En los años recientes, empresas como Motorola, General Electric, Xerox, AT&T, entre otras, desarrollan e implantan una metodología de calidad total denominada *Calidad 6 Sigma* con el objetivo de reducir los errores y defectos a un máximo de 3.4 partes por millón (ppm), donde una de las herramientas clave es el control estadístico de procesos, que permite obtener ahorros de costos muy importantes.

## **Marco teórico**

### **1.2. Control estadístico de Calidad**

1.2.1. El control estadístico de calidad es un método científico de análisis de datos que sirve para resolver problemas prácticos en donde intervienen cantidades numéricas, por ejemplo: en una planta manufacturera, se aplica a problemas de ingeniería, de operación, de inspección y de administración.

El término “Control Estadístico de Calidad” significa “hacer que un proceso se conduzca como queremos que lo haga”, con ayuda de datos numéricos, estudiando las características del mismo. El proceso que se selecciona para su estudio : una máquina, un ser humano, una pieza dentro de un equipo, un dispositivo de medición, un método de ensamble, un grupo de máquinas

1.2.2. diferentes, una combinación de hombres, máquinas y materiales [4].

### **Control estadístico de Procesos**

El Control estadístico de Procesos (CEP), es un concepto que está ligado con la calidad, por lo que es una herramienta que muestra el estado de un proceso de transformación en términos estadísticos, lo cual permite monitorearlo y establecer parámetros para su mejor control.

El CEP es una metodología que tiene como objetivo proveer el control de procesos en términos estadísticos [5]. Algunos autores lo definen como un conjunto de herramientas para resolver problemas, además es útil para conseguir estabilidad y mejorar la capacidad del proceso mediante la reducción de la variabilidad.

Shewart [6], determinó que todos los procesos están sujetos a variación, por lo que esta afecta disminuyendo la calidad debido a que causa ineficiencia y gastos. Como resultado, si se logra identificar la fuente de variación, se tendrán los elementos para tomar acciones necesarias para disminuir o eliminar la ineficiencia e incrementar la productividad.

### **Variabilidad en el Control estadístico de Procesos**

La variación en un proceso y tiene dos tipos de causas: causas asignables y causas aleatorias o fortuitas. Se consideran causas asignables a los cambios de materia prima, cambios de turno, errores de operador, materia prima defectuosa, entre otros, mientras que se consideran causas aleatorias a cualquier fenómeno fortuito que pueda afectar la variabilidad del proceso, como los fenómenos climáticos. Cuando un proceso opera únicamente con causas fortuitas de variación, está bajo control estadístico y cuando un proceso opera en presencia de causas asignables esta fuera de control [7].

### **Gráficos de Control**

Las gráficas de control son elaboradas a partir de valores medidos de muestras tomadas del proceso, se menciona que las gráficas de control son una herramienta que se utiliza para analizar datos estadísticos de manera sofisticada, que incluye Límites de Control Superiores e Inferiores [6], tal como se observa en la Figura 1.1. . Estas gráficas se utilizan cotidianamente en la manufactura, educación, gobierno e industrias de servicio.

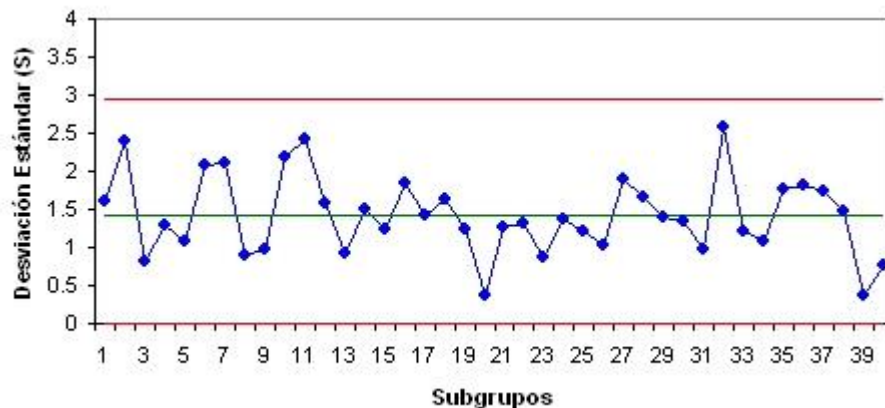


Figura 1.1 Gráfica de Control

Los límites de control dan poder analítico a la gráfica de control para que el usuario determine si un proceso se considera estable y por lo tanto, predecible, impredecible o inestable. Por lo que dicha información lleva a controlar un proceso cuando este se considera estable o mejorar su control.

Las gráficas de control muestran la cantidad y naturaleza de la variación en un proceso, indican el control estadístico o la falta de él y permiten la interpretación y detección del patrón de cambios en el proceso de estudio [8]. En general hay dos tipos de datos que son útiles en el estudio de las características de la calidad, que son por Atributos y por Variables. Los primeros son el conteo o la conversión de los conteos a proporciones o porcentaje de la presencia o ausencia de algunas características o atributos en las unidades examinadas, para demostrar el comportamiento básico de la variación de los Atributos en muestras tomadas de un proceso que tiene un nivel estable de porcentaje de ciertas características se emplean las Gráficas de Control por Atributos, mientras que las segundas son mediciones reales junto con una escala de una característica de calidad o propiedad del proceso capaz de ser la media, para estas mediciones se emplean las Gráficas de Control por Variables.

### Límites de Especificación y de Control

Para utilizar de forma adecuada las gráficas de control es importante comprender el significado y diferencia entre lo que son los límites de especificación y límites de control. Los Límites de especificación (LE) se establecen para fijar un rango de condiciones aceptables. Si se sobrepasan, los productos correspondientes son rechazados. Los Límites de Control indican el rango que en se logra la estabilización del proceso de producción [8]. Si aparecen situaciones anormales a la gráfica de control, es necesario encontrar la causa para tomar la acción que lo remedie. La figura 1.2 muestra cómo se establecen los límites de especificación y de control en una gráfica de control.

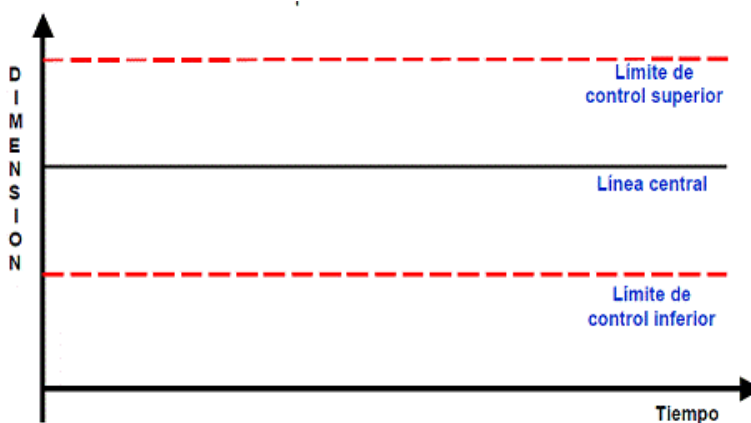


Figura 1.2 Límites en una gráfica de control

1.2.5.

### Patrones en Gráficos de control

Los puntos trazados sobre una gráfica de control forman un patrón irregular de sube y baja, que se clasifica como natural o no natural [9].

1.2.5.1.

#### Patrón Natural

La característica principal de un patrón natural es que los puntos fluctúan aleatoriamente y obedecen a las leyes de la probabilidad. Las siguientes características son encontradas en patrones naturales:

1. La mayoría de los puntos se encuentran cerca de la línea central sólida.
2. Algunos puntos se extienden hacia afuera y se aproximan a los límites de control.
3. A lo más un punto excede los límites de control rara y ocasionalmente.

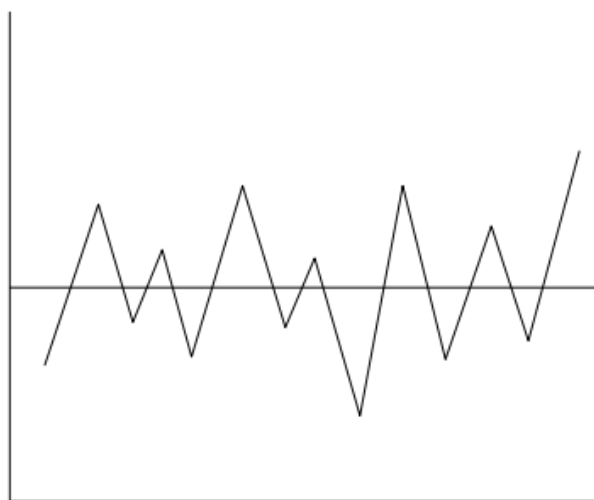


Figura 1.3 Patrón natural

El patrón se observa no natural si alguna de las tres características falta, por lo tanto un patrón natural es aquel que no da evidencia de falta de naturalidad a través de una gran serie de puntos graficados [9].

1.2.5.2.

### **Patrón no Natural**

Los patrones no naturales tienden a fluctuar más ampliamente o bien, dejan de equilibrarse alrededor de una línea central. También un patrón es no natural cuando no fluctúa lo suficiente. Los patrones no naturales siempre implican la ausencia de una o más de las características de un patrón natural [9].

1.2.5.3.

Existen varios tipos de patrones no naturales como son: Cíclico, tendencia, desplazamiento.

### **Cíclico**

El comportamiento cíclico de la media del proceso puede ser reconocido por una serie de porciones altas o picos seguidos por porciones bajas. Se repite una cierta pauta a intervalos de tiempo más o menos regulares. Cuando la fabricación está organizada por turnos, se dan con frecuencia comportamientos de tipo cíclico [10].

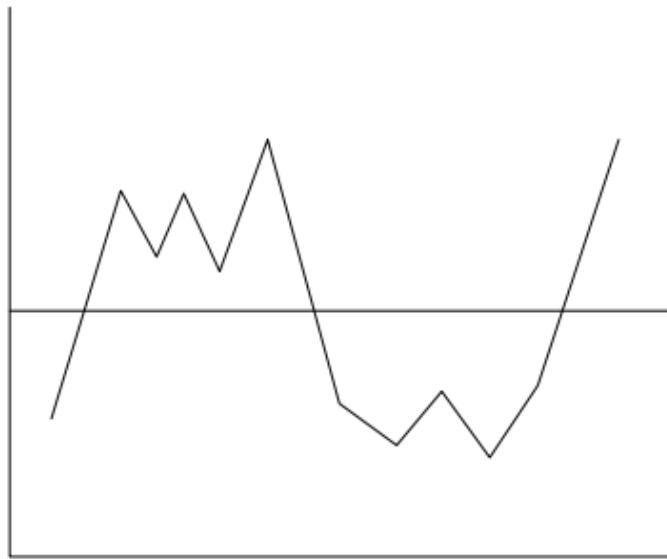


Figura 1.4 Comportamiento cíclico

1.2.5.4.

**Tendencia**

Una tendencia se puede definir como un movimiento continuo en una dirección (creciente/decreciente). Si es hacia arriba, entonces se trataría de una tendencia creciente, si es hacia abajo, la tendencia será decreciente. Las posibles causas de esta condición pueden ser el desgaste de la herramienta, fatiga del operador, el deterioro del equipo, entre otros [10]. Debe tenerse en cuenta que un gráfico de control no siempre es capaz de detectar una tendencia en la forma descrita. Una tendencia puede ser lenta y materializarse en el gráfico por fluctuación es por encima y debajo de una cierta curva.



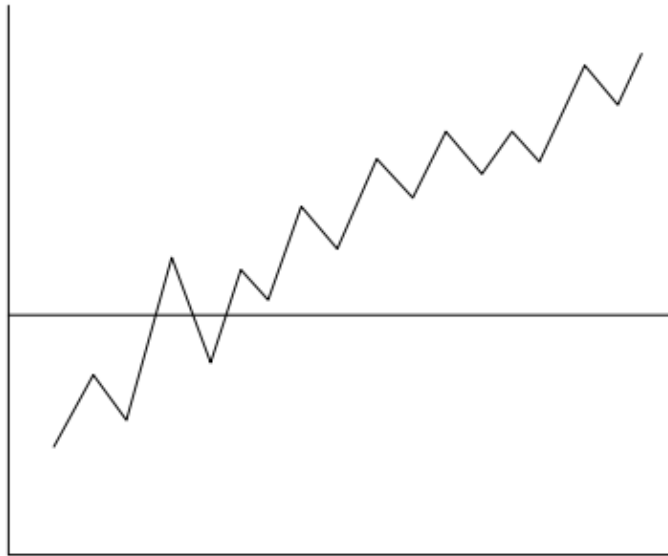
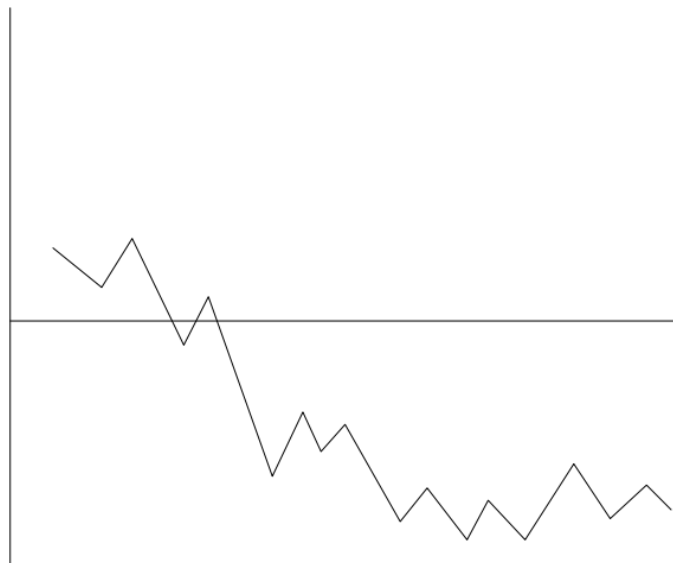


Figura 1.5 Tendencia creciente



1.2.5.5.

Figura 1.6 Tendencia decreciente

**Desplazamiento**

Un desplazamiento puede ser definido como un cambio súbito o abrupto en el promedio de la media del proceso. Este cambio puede ser causado por una diferencia en las materias primas, un

fallo menor en la maquinaria, la introducción de nuevo personal, un cambio en el método de inspección o normas, entre otras causas [10].

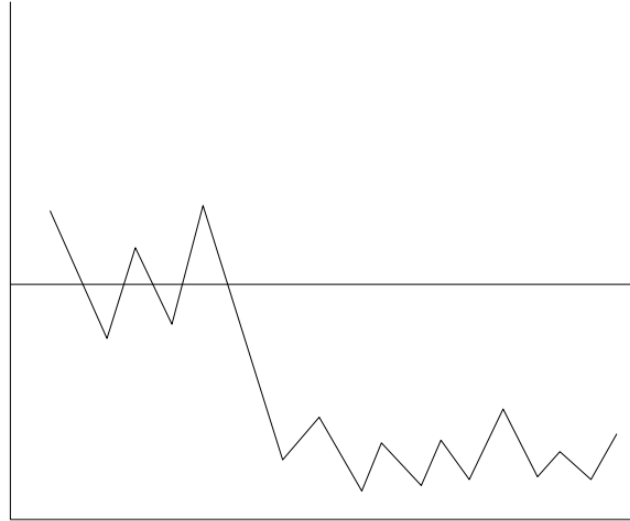


Figura 1.7 Desplazamiento hacia abajo

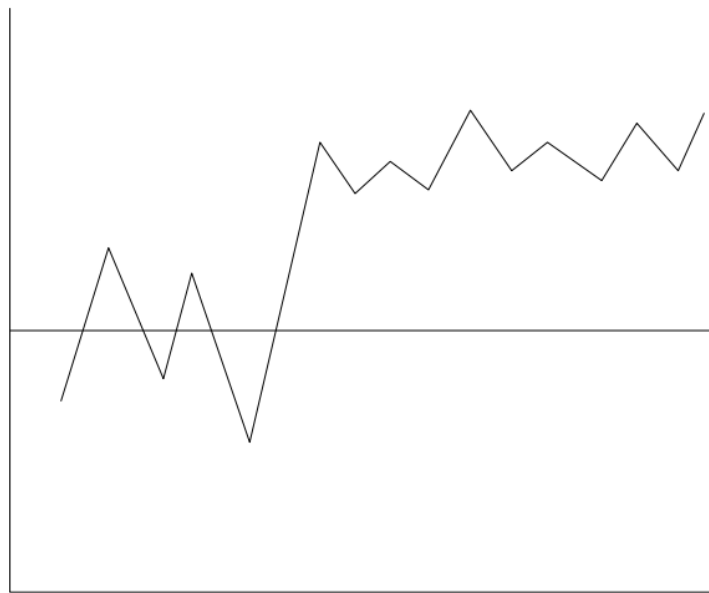


Figura 1.8 Desplazamiento hacia abajo

### Gráficas de control por variables

Se emplean cuando es necesario examinar una característica de escala o medición y no la presencia de un atributo. Este tipo de gráficas se utilizan para analizar una característica de calidad, las cuales contemplan gráficas de medias ( $\bar{X}$ ), rangos ( $R$ ), desviaciones estándar ( $S$ ) y medianas ( $\tilde{X}$ ) [11].

### Gráficas de control de medias ( $\bar{X}$ )

Estas gráficas proporcionan medidas sensitivas del proceso y para realizar un estudio de proceso se debe primero determinar la media de los datos de las muestras que se deseen analizar, realizándose de la siguiente manera:

1. Obtener la media aritmética del total de datos de las muestras, ecuación 1:

$$\mu = \sum_{i=1}^n x_i/n \quad 1$$

Donde  $x_i$  representa cada uno de los datos de las muestras,  $n$  la cantidad de los datos de la muestra y  $\mu$  la media aritmética de los datos.

2. De la ecuación 2 se obtiene el rango promedio del total de las muestras:

$$R = \sum_{i=1}^n (x_{max} - x_{min})/n \quad 2$$

Donde  $x_{max} - x_{min}$  es la diferencia aritmética del valor de mayor magnitud con el de menor magnitud de cada muestra,  $n$  es el numero de muestras y  $R$  el rango promedio de la totalidad de muestras.

3. Los Límites de Control están dados por las ecuaciones 3, 4 y 5.

$$LCS = \mu + [A_2(R)] \quad 3$$

4

$$LC = \mu$$

5

$$LCI = \mu - [A_2(R)]$$

Donde  $LCS$ ,  $LC$ ,  $LCI$  representan los Límites Superior, Central e Inferior respectivamente,  $\mu$  es la medida obtenida en (1),  $R$  es el rango promedio obtenida en (2) y  $A_2$  es una constante que se obtiene de acuerdo al número de elementos que contiene cada muestra que se está analizando.

Se debe tener en cuenta que la Gráfica  $\bar{X}$  muestra cuando el proceso está centrado. Si la Gráfica  $\bar{X}$  es normal, el centro del proceso no es cambiante. Si la Gráfica  $\bar{X}$  muestra tendencia, el centro del proceso se mueve gradualmente hacia arriba o hacia abajo. Si la Gráfica  $\bar{X}$  es irregular y está fuera de control, algo está cambiando el centro muy rápidamente y en forma inconsistente [11].

Las Gráficas  $X$  también son afectadas por condiciones fuera de control en la Gráfica  $R$ . Si las Gráficas  $X$  y  $R$  están fuera de control, se debe buscar primero las causas que están afectando a la Gráfica  $R$ .

#### 1.2.6.2. Gráficas de control de rangos ( $R$ )

Estas gráficas muestran la variabilidad en proporción a un mayor control de desempeño del proceso. Este tipo de gráfico es más susceptible a mostrar los cambios en las muestras, por lo que primero se recomienda obtener este tipo de gráficos y luego obtener la gráfica de medias, de acuerdo a los Límites de Control que están dados por las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$LCS = D_4(R) \quad 6$$

$$LC = R \quad 7$$

$$LCI = D_3(R) \quad 8$$

Donde  $LCS$ ,  $LC$ ,  $LCI$  son los Límites Superior, Central e Inferior respectivamente,  $R$  es el rango obtenido en (2) y  $D_4$ ,  $D_3$  son constantes que se obtienen de acuerdo al número de elementos que contiene cada muestra que se está analizando [11].

Se debe tener en cuenta que la Gráfica  $R$  muestra uniformidad o consistencia; es decir, si la Gráfica  $R$  es estrecha, el producto es uniforme. Si la Gráfica  $R$  esta fuera de control, algo está operando con anomalías en el proceso.

### Gráficas de control de desviaciones estándar ( $S$ )

Estas gráficas ofrecen una mayor eficiencia en la estimación de la dispersión que la gráfica de rango y es más flexible para aplicaciones implicando tamaños de subgrupos mayores y desiguales esto de acuerdo a:

1. Calcular primero con la ecuación (9), la desviación estándar  $s$  de cada una de las muestras:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - x_p)^2}{m - 1}} \quad 9$$

Donde  $x_i$  es cada elemento de la muestra,  $x_p$  es la media aritmética de cada muestra,  $m$  son los elementos que conforman una muestra.

2. Posteriormente se obtiene la desviación estándar promedio  $s_p$  de la totalidad de las muestras, ecuación 10.

$$s_p = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{n} \quad 10$$

Donde  $s_i$  es la desviación estándar obtenida en cada una de las muestras,  $n$  es el número de muestras que se están analizando.

3. Los Límites de Control están dados por las ecuaciones 11, 12, 13:

$$LCS = B_4(s_p) \quad 11$$

$$LC = s_p \quad 12$$

$$LCI = B_3(s_p) \quad 13$$

Donde  $LCS$ ,  $LC$ ,  $LCI$  son los Límites Superior, Central e Inferior respectivamente,  $s_p$  es la desviación estándar promedio obtenida en (10) y  $B_3, B_4$  son constantes que se obtienen de acuerdo al número de elementos que contienen las muestras que se están analizando [11].

### Gráficas de control de medianas ( $\tilde{X}$ )

Estas gráficas se utilizan en grupos racionales pequeños, por lo que se considera que la eficiencia de la mediana para estimar la media verdadera disminuye con el incremento del tamaño de la muestra, de acuerdo a [11]:

1. Obtenemos la mediana promedio  $xm_p$  de acuerdo a la ecuación 14, para la totalidad de muestras:

$$xm_p = \sum_{i=1}^n xm_i/n \quad 14$$

Donde  $xm_i$  es la mediana obtenida en cada una de las muestras, y  $n$  es el número de muestras que se están analizando.

2. Los Límites de Control están dados por las ecuaciones 15,16 y 17:

$$LCS = xm_p + [A_6(R)] \quad 15$$

$$LC = xm_p \quad 16$$

$$LCI = xm_p - [A_6(R)] \quad 17$$

1.2.7.

### Lenguajes de programación con enfoque al análisis estadístico

Lenguajes de programación que están especialmente diseñados para resolver problemas en el área de estadística, estos lenguajes impulsaron y siguen impulsando enormemente la labor de los investigadores que desean utilizar la estadística como apoyo en su trabajo.

## R

R es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculo y gráficos. Es además un lenguaje de programación orientado a objetos, es una implementación libre, independiente, *open-source* del lenguaje de programación S que actualmente es un producto comercial llamada S-PLUS. Entre otras características dispone de almacenamiento y manipulación de datos, operadores para cálculo sobre variables indexadas, en particular matrices, una amplia e integrada colección de herramientas para análisis de datos, posibilidades gráficas para análisis de datos, que funcionan directamente sobre pantalla o impresora y un lenguaje de programación simple que incluye condicionales, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas [12].

R posee muchas funciones para análisis estadísticos y gráficos; estos últimos son visualizados de manera inmediata en su propia ventana y ser guardados en varios formatos. Se distribuye gratuitamente bajo los términos de la GNU (General Public License); su desarrollo y distribución son llevados a cabo por varios estadísticos conocidos como el Grupo Nuclear de Desarrollo de R. Ofrece un ambiente de programación con los elementos estándar de un lenguaje: ciclos, acciones condicionales, estructuras de lectura y salida de datos, funciones con argumentos vectoriales, así como una gran cantidad de funciones y paquetes que le añaden funcionalidad.

1.2.8.

1.2.8.1. **Paquetes en R para el Desarrollo de aplicaciones con enfoque al análisis estadístico.**

### Shiny

Shiny es una herramienta para la creación de aplicaciones web interactivas desarrollada por RStudio en 2012, permite a usuarios interactuar con sus datos sin tener que manipular el código directamente [13]. Shiny se basa en la programación Reactiva que vincula los datos de entrada con los de salida. Dispone de *widgets* pre-construidos que hacen posible la construcción de aplicaciones con interfaz amigable sin tener grandes conocimientos en programación. Shiny además de hacer uso de la programación Reactiva se apoya en otras tecnologías para el desarrollo de aplicaciones web, tales como HTML5/CSS3, Javascript y Node.js, entre otras. Se

basa en la tecnología websocket para su funcionamiento y se encuentra disponible para su descarga en CRAN.

Las aplicaciones en Shiny constan de una carpeta que contiene 2 archivos básicos (opcionalmente contiene archivos extras); **server.R** contiene las instrucciones que constituyen los componentes R de la aplicación. Contiene las instrucciones que el equipo necesita para construir la aplicación; **ui.R** contiene la descripción de la interfaz (UI) de la aplicación, la página web que muestra la aplicación (secuencia de comandos de la interfaz de usuario), contiene una secuencia de comandos que controla el diseño y aspecto de la aplicación. La programación reactiva en Shiny se produce cuando una entrada (input) cambia, el servidor reconstruye cada salida (output) que depende de ella, también si la dependencia es indirecta. Se puede controlar este comportamiento a través de la cadena de dependencias.

Los *widgets* dentro de Shiny son pequeñas aplicaciones o programas que tienen por objetivo facilitar el acceso a funciones usadas frecuentemente y proveer información visual. Estos elementos pueden ser utilizados por los usuarios para interactuar enviando mensajes a la aplicación Shiny. Shiny dispone de un conjunto de widgets pre-construidos, cada uno creado con una función de R.

Tabla 1.1 Widgets básicos en Shiny

widget	Función	Argumentos comunes
<b>Botón de acción</b>	actionButton	inputId, label
<b>Casilla</b>	checkboxInput	inputId, label, value
<b>Grupo de casillas</b>	checkboxGroupInput	inputId, label, choices, selected
<b>Selección de fechas</b>	dateInput	inputId, label, value, min, max, format
<b>Selección de rango fechas</b>	dateRangeInput	inputId, label, value, min, max, format
<b>Subir archivo</b>	fileInput	inputId, label, multiple
<b>Campo numérico</b>	numericInput	inputId, label, value, min, max, step
<b>Botón de selección</b>	radioButtons	inputId, label, choices, selectec



<b>Casilla de selección</b>	selectInput	inputId, label, choices, selected, multiple
<b>Deslizador</b>	sliderInput	inputId, label, min, max, value, step
<b>Botón de envío</b>	submitButton	text
<b>Campo de texto</b>	textInput	inputId, label, value

## Redes Neuronales

1.2.9.

### Perceptrón Multicapa

1.2.9.1.

Dentro del marco de las redes neuronales, el Perceptrón multicapa es actualmente una de las arquitecturas más utilizadas en la resolución de problemas. Esto se debe fundamentalmente a su capacidad como aproximador universal, así como su fácil uso y aplicabilidad [14].

Como se muestra en la Figura 1.1, Perceptrón multicapa consta de tres tipos de capas: una capa de entrada, una capa de salida y una o más capas ocultas. Las neuronas en la capa de entrada actúan solamente como reguladores para distribuir la señal de entrada  $x_i$  a las neuronas en la capa oculta. Cada neurona  $j$  en la capa oculta añade sus señales de entrada  $x_i$  después de multiplicarlas por las resistencias de los respectivos pesos de conexión  $w_{ji}$  y calcula su salida  $y_j$  como una función de la suma, es decir;

$$y_j = f \sum (w_{ji}x_i)$$

$f$  es generalmente una función tangente sigmoideal o hiperbólica. Las salidas de las neuronas en la capa de salida se calculan de manera similar.

El entrenamiento de una red consiste en ajustar sus pesos usando un algoritmo de entrenamiento. El algoritmo de entrenamiento adoptado en este estudio optimiza los pesos intentando minimizar la suma de las diferencias cuadradas entre los valores deseados y reales de las neuronas de salida.

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (y_{dj} - y_j)^2$$

Donde  $y_{dj}$  es el valor deseado de la neurona de salida  $j$  y  $y_j$  es la salida real de esa neurona.

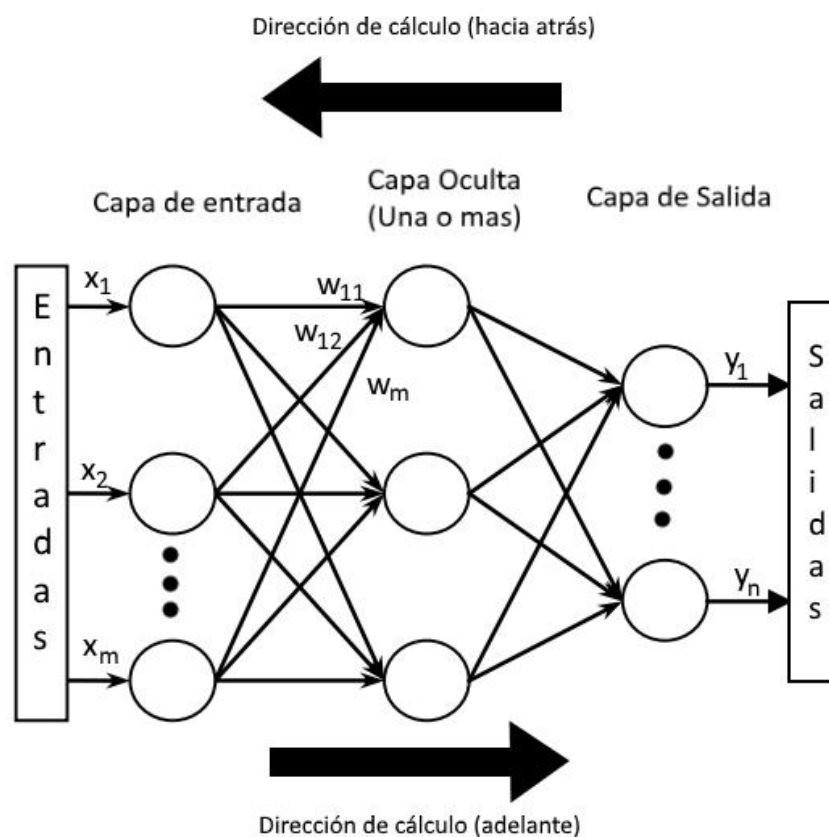


Figura 1.9 Estructura de un Perceptrón multicapa

Cada peso  $w_{ji}$  se ajusta añadiendo un incremento  $w_{ji}$  a él.  $w_{ji}$  se selecciona para reducir  $E$  tan rápidamente como sea posible. El ajuste se realiza a lo largo de varias iteraciones de entrenamiento hasta que se obtiene un valor satisfactorio pequeño de  $E$  o se alcanza un número

dado de iteraciones. La forma en que  $w_{ji}$  se calcula depende del algoritmo de entrenamiento adoptado.

### Algoritmo de Retro propagación

El algoritmo de aprendizaje es el mecanismo mediante el cual se van adaptando y modificando todos los parámetros de la red. En el caso del perceptrón multicapa se trata de un algoritmo de aprendizaje supervisado, debido a esto la modificación de los parámetros se realiza para que la salida de la red sea lo más próxima posible a la salida proporcionada por el supervisor o salida deseada [15].

El algoritmo de retropropagación da el cambio  $\Delta w_{ji}(k)$  en el peso de la conexión entre las neuronas  $i$  y  $j$  en la iteración  $k$  como

$$\Delta w_{ji}(k) = -\alpha \frac{\delta E}{\delta w_{ji}(k)} + \mu \Delta w_{ji}(k-1)$$

Donde  $\alpha$  corresponde al coeficiente de aprendizaje,  $\mu$  el coeficiente de momento y  $\Delta w_{ji}(k-1)$  el cambio de peso en la iteración inmediata anterior.

El entrenamiento de un Perceptrón multicapa por retro propagación implica presentarlo secuencialmente con todas las tuplas de entrenamiento. Las diferencias entre la salida objetivo  $y_d(k)$  y la salida real  $y(k)$  del perceptrón se propagan de nuevo a través de la red para adaptar sus pesos. Una iteración de entrenamiento se completa después de que una tupla en el conjunto de entrenamiento ha sido presentada a la red y los pesos actualizados.

### Planteamiento del problema

La aplicación de las diferentes herramientas del Control estadístico de procesos (CEP) son muy complicadas de realizar de forma manual, tal situación ocasiona que distintas empresas desarrollen algunos programas que realicen esta función, por lo que las personas interesadas en implementar las herramientas del Control estadístico de procesos se ven obligados a adquirir este software que se vende a alto costo. En algunos casos, este tipo de software se compra por

módulos que incluyen las herramientas de CEP de manera independiente. Por otro lado, un grave problema que se presenta es que después de un tiempo estas herramientas se vuelven obsoletas a causa de la salida de paquetes estadísticos más fáciles de manejar.

Dado lo anterior, se pretende desarrollar una herramienta informática fácil de usar a todo aquel que tenga acercamiento al CEP para analizar el comportamiento de un proceso determinado que solo incluya las gráficas de control por variables.

### **Objetivo general y específico**

#### **1.4. Objetivo general**

1.4.1. Desarrollar una herramienta informática para el análisis de defectos mediante gráficas de control estadístico para variables.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Analizar el Control estadístico de procesos, sus herramientas y la variabilidad en los procesos para determinar los patrones de inestabilidad más frecuentes en el comportamiento de los datos.
2. Analizar el estado del arte de trabajos relacionados para
3. Analizar los softwares existentes para determinar los alcances y limitaciones respecto al Control estadístico de procesos.
4. Investigar, analizar y estudiar lenguajes de programación con enfoque al análisis estadístico para el desarrollo del proyecto.
5. Desarrollar procedimientos para la detección de patrones de inestabilidad.
6. Desarrollar una herramienta informática para el análisis de defectos que incluya las gráficas de control por variables.
7. Definir un caso de estudio para probar la herramienta desarrollada.

### **Justificación**

La automatización de los procesos de control estadístico es cada vez más necesario, debido a que existe en el mercado muchos softwares que no son utilizados al máximo por la gran cantidad de funciones con las que cuentan, lo que determina que su manejo sea complicado, además de su elevado costo, la herramienta informática propuesta en esta tesis para el análisis de defectos que incluye gráficos de control por variables permite a todo aquel que tenga acercamiento al control de procesos de producción, encontrar y analizar la variabilidad en los procesos con respecto al control estadístico de calidad.

El desarrollo de la herramienta propuesta en esta tesis cumple específicamente con las necesidades básicas del control estadístico de procesos, en lo que se refiere a gráficas de control por variables y la capacidad de encontrar patrones de variabilidad en el proceso.



## Capítulo 2. Estado de la práctica

A continuación se presenta una recopilación y análisis de trabajos relacionados que describen el área de oportunidad que se aborda en la presente tesis.

### Trabajos relacionados

El Control estadístico de Procesos (CEP), es un concepto que está ligado con la calidad, por lo que es una herramienta que muestra el estado de un proceso de transformación en términos estadísticos, lo cual permite monitorearlo y establecer parámetros para su mejor control, además es útil para conseguir estabilidad y mejorar la capacidad del proceso mediante la reducción de variabilidad [4]. Los gráficos de control son elaborados a partir de los valores medidos de muestras tomadas del proceso, los gráficos son una herramienta que se utiliza para analizar datos estadísticos de manera sofisticada, muestran la cantidad y la naturaleza de la variación de un proceso, indican el control estadístico o la falta de él y permiten la interpretación y detección de patrones de cambio en el proceso de estudio [16]. El reconocimiento exacto y rápido de los patrones de cambio en gráficos de control es esencial para mantener productos de alta calidad.

Varios enfoques se han propuesto para el reconocimiento de patrones en gráficos de control, incluidos sistemas basados en reglas [17], sistemas expertos [18] y con redes neuronales artificiales [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26]. La ventaja de un sistema experto o basado en reglas es que contiene la información explícitamente, si es necesario, las reglas pueden ser modificadas y actualizadas fácilmente, sin embargo, el uso de las reglas basadas en propiedades estadísticas tiene la dificultad de que pueden derivar en propiedades estadísticas similares para algunos patrones de diferentes clases, lo que puede crear problemas de reconocimiento incorrecto. Las redes neuronales artificiales han sido ampliamente aplicadas reconocimiento de patrones. Estas redes han demostrado ser buenas alternativas a los sistemas tradicionales de reconocimiento de patrones en gráficos de control, debido a sus características para generalizar, facilidad de implementación y la capacidad de manejar medidas ruidosas que no requieren ninguna suposición acerca de la distribución estadística de los datos monitorizados.

La mayoría de los investigadores han utilizado redes neuronales artificiales supervisadas, tales como perceptrón multicapa, función de base radial [27] y cuantificación del vector de aprendizaje [28] para clasificar diferentes tipos de patrones en gráficos de control. El perceptrón multicapa, con algoritmo de aprendizaje de retro propagación, es quizás el modelo de red neuronal más utilizado, siendo fácil de entender y de implementar. Algunos otros investigadores han utilizado *fuzzy-clustering* [29] para el reconocimiento de patrones. Un clasificador basado en el árbol de decisiones [30] también es popular para el problema del reconocimiento de patrones en gráficos de control. Para el aprendizaje de redes neuronales, es necesario encontrar un algoritmo que aprenda bien y rápidamente. Hay algunas comparaciones disponibles en la literatura, pero no dan un concepto preciso para determinar si un algoritmo es mejor para una aplicación específica.

En [31] se mencionó que la calidad se analiza desde dos enfoques, el cualitativo y cuantitativo, el primero se basa en criterios subjetivos mientras que el segundo necesita establecer sistemas de medición durante el proceso, estos criterios son parte de las premisas del plan de calidad organizacional que dan lugar a lo que se conoce como control estadístico de la calidad, que se define como el conjunto de lineamientos bajo los cuales las empresas estandarizan las condiciones de producción, con la finalidad de satisfacer los requerimientos del cliente.

Mencionan que las principales herramientas de apoyo son las gráficas para medias ( $\bar{X}$ ) y la de rangos  $R$ . El objetivo del trabajo es diseñar y desarrollar una interfaz para facilitar el análisis estadístico de datos, utilizando gráficos de control por variables mediante el uso del software MATLAB. Como resultado la interfaz desarrollada muestra el comportamiento de un proceso en un intervalo de tiempo determinado a través de las gráficas  $\bar{X}$  y  $R$ , además de formular un reporte general. Los autores concluyen que se cuenta con infinidad de paquetes estadísticos en el mercado que realizan este tipo de tareas, pero ninguno está diseñado a la medida de la empresa que lo está utilizando.

En [32] parten del hecho de que el soporte para operaciones es uno de los requisitos para el éxito competitivo de las organizaciones de fabricación modernas. Los autores afirman que un aspecto importante de apoyo a las operaciones es el Control estadístico de Procesos (CEP) que se define



como el uso de métodos estadísticos para el seguimiento y control de los procesos y productos de fabricación. La implementación del CEP requiere de una cierta cantidad de conocimientos estadísticos y comprensión de las operaciones a realizar. Esto no es un problema para las grandes empresas, sin embargo, las empresas más pequeñas son incapaces de proporcionar los conocimientos necesarios para llevar a cabo estas operaciones. Los autores proponen un enfoque de servicio de datos para el CEP con un núcleo basado en un servicio web, que proporciona los medios para generar informes de forma remota, estos informes son generados en forma de gráficos de control. Con el objetivo de validar el enfoque propuesto los autores plantean un caso de estudio donde se ilustra cómo utilizar el servicio en una pequeña empresa para aumentar sus capacidades de proceso, gestión de la calidad y control de procesos.

En [33] se abordó la deficiencia en la literatura de la aplicación del Control Estadístico de Procesos (CEP), con énfasis en la detección temprana y la prevención de los problemas, el CEP demostró tener una clara ventaja sobre los métodos de la calidad tales como la inspección del producto final. En el actual entorno de mercado la necesidad de ser mejor es más exigente y la necesidad de ser más competitivos es una necesidad para sobrevivir. Es evidente que es necesario tomar decisiones basadas en hechos, no sólo en opiniones, en consecuencia, los datos deben ser recogidos y analizados, aquí es donde el CEP ayuda en la toma de decisiones y la determinación de si el proceso está funcionando a un nivel aceptable, cuando un proceso se considera fuera de control se deben de buscar las causas asignables de variación y tratar de eliminarlas. En este estudio se explicó el concepto de CEP para el beneficio de aquellos con la intención de usarlo en sus procesos. La literatura en la aplicación del CEP se concentra principalmente en el desarrollo de herramientas estadísticas como los gráficos de control.

Los gráficos de control son herramientas importantes en el Control Estadístico de Procesos (CEP), son útiles para determinar si un proceso se comporta según lo previsto o si hay algunas causas no naturales de variación, un proceso está fuera de control si un punto cae fuera de los límites de control o una serie de puntos muestran un patrón no natural, el análisis de los patrones no naturales es un aspecto importante en el CEP, estos patrones no naturales proporcionan información valiosa con respecto a las potencialidades para la mejora de procesos. Recientemente, muchos estudios usaron redes neuronales artificiales con el fin de detectar

patrones más eficazmente que el enfoque convencional y su objetivo es el diagnóstico automático de los patrones. En [34] se describió un marco propuesto para el reconocimiento gráfico de control de proceso multi variable. La metodología propuesta utiliza las redes neuronales artificiales para reconocer un conjunto de subclases de patrones anormales multivariados, identificar las variables responsables de la ocurrencia del patrón anormal y clasificar sus parámetros. Las RNAs se entrenaron con datos simulados y el rendimiento del enfoque propuesto evaluado mediante un estudio de caso real. El marco propuesto obtuvo resultados precisos para detectar el patrón anormal y resultados satisfactorios para identificar la variable errante con la base de datos simulados. Este marco basado en redes neuronales vincula con un sistema experto que, basándose en los patrones anormales identificados infiera las causas asignables para la variación del proceso.

La cuestión básica en una organización orientada a la calidad es a que nivel se está en condiciones de satisfacer las expectativas de los clientes. Un producto adecuado para su uso se debe producir en un proceso estable, lo que significa que el proceso debe ser capaz de producir el producto con una variabilidad aceptable dentro de los índices de calidad establecidos. La mejora de procesos se basa en la suposición de la variabilidad del índice de calidad y tiene dos tipos de causas, causas aleatorias cuando son parte permanente del proceso, crean una amplia variedad de causas no identificables individualmente de la que cada una ligeramente contribuyen a la variabilidad general, causas definibles, son causas que no son una parte permanente del proceso pero ocurren como consecuencia de circunstancias específicas. En [35] el autor presentó aplicaciones de las herramientas de control estadístico de procesos, a través de las cuales se logra alcanzar la mejora continua de la calidad. Menciona que la ventaja de estas herramientas es que presentan mecanismos para identificar los efectos de los procesos que causan la variabilidad natural. Como conclusión marca que las herramientas como los gráficos de control, determinan de forma fiable la variabilidad anómala en el proceso y contribuir así a mejorar la calidad.

En [36] se mencionó que el reconocimiento automático de patrones anormales en los gráficos de control aumentó en demandas en los procesos de fabricación. A través de los años, se propusieron numerosas reglas complementarias conocidas como *zone tests* o *run tests*, para

analizar los gráficos de control. Los autores mencionan que la interpretación de los datos de un proceso sigue siendo difícil porque se trata de tareas de reconocimiento de patrones, y a menudo este reconocimiento se basa en la habilidad y la experiencia del personal de control de calidad para identificar la existencia de un patrón no natural en el proceso. Un sistema de reconocimiento automático eficiente compensará esta brecha y asegurará una interpretación coherente e imparcial de los patrones en los gráficos de control. Algunos investigadores utilizaron sistemas expertos y otras redes neuronales artificiales, la ventaja de una red neuronal es que no requiere la provisión de reglas explícitas, aprende a reconocer patrones directamente por ser presentada con los patrones de ejemplo típicos durante la fase de entrenamiento. En el trabajo se investiga el diseño de un sistema preciso para el patrón gráfico de control de reconocimiento a partir de dos aspectos, en primer lugar se introducen dos módulos principales: un módulo de extracción de características y un módulo clasificador. El módulo de extracción de características utiliza las entropías de los paquetes de ondas pequeñas. Los resultados obtenidos muestran mejoras adicionales en términos de precisión de reconocimiento alcanzados por el sistema de reconocimiento propuesto.

En [37] se presentó un modelo integrado de control estadístico de procesos y la toma de mantenimiento. El gráfico de control se empleó para controlar la característica de la calidad del producto, generando una señal de alerta siempre que el valor medio de los cambios de calidad pasara a un estado fuera de control. La propuesta de directiva de supervisión de retraso presentada por los autores, pospone el proceso de muestreo hasta una hora programada y contribuye a plantear escenarios dentro del proceso de producción. La alerta del gráfico de control activa el mantenimiento correctivo y el mantenimiento predictivo, la probabilidad de ocurrencia, el tiempo del ciclo y el coste del ciclo de cada escenario se obtienen por cálculo integral, por lo tanto un modelo matemático se establece para reducir al mínimo el costo esperado utilizando un algoritmo genético. Los resultados obtenidos indicaron un rendimiento económico satisfactorio del modelo propuesto.

Con el desarrollo de tecnología avanzada de fabricación muchas de las funciones en la industria manufacturera, tradicionalmente realizadas por seres humanos, ahora sustituidos por máquinas. La tecnología de para buscar el reconocimiento automático de patrones anormales también llegó

a un primer plano. El reconocimiento de diversos patrones de los gráficos de control reduce significativamente el proceso de búsqueda de diagnósticos. Enfoques basados en características facilitan el reconocimiento de patrones de manera eficiente. En [38] se seleccionó un conjunto de siete características mediante un árbol de clasificación y regresión. Estas características se extraen de la trama de datos de proceso reales, sin escala o normalización, de tal manera que sus valores serán independientes del proceso de la media y la desviación estándar. La evaluación de dos tipos de reconocedores reveló que los reconocedores basados en redes neuronales artificiales logran un mejor rendimiento del reconocimiento, se observó además, que los reconocedores resultan en un mejor rendimiento basados en las características seleccionadas.

En [39] se presentó una propuesta de control de calidad mediante herramientas simples de control estadístico de calidad. Los autores mencionan que existen diversas técnicas cualitativas y pocas técnicas cuantitativas como las gráficas, que nos permiten determinar si la presentación de un servicio se encuentra bajo control, es decir, verificar si la calidad está dentro de los estándares establecidos por la empresa o institución, o fuera de ellos. El trabajo se centra en mostrar la mecánica del control de calidad de un servicio mediante dos tipos de gráficas de control para variables, la gráfica de control para medias de un proceso y la gráfica de control para variabilidad de procesos. Como conclusión los autores consideran que las gráficas básicas para control de variables, son un punto de partida para comprender los mecanismos que se requieren en el control de calidad de un servicio.

### **Análisis comparativo**

Los artículos mencionados en este capítulo conforman el estado de la práctica, a continuación se realiza un análisis comparativo, con el objetivo de obtener una tabla comparativa que abarque los siguientes aspectos: en la tabla de trabajos relacionados, autor o autores que trabajan en el proyecto, el problema que dio origen al desarrollo del proyecto, la solución y resultado que se alcanzó; en la tabla de trabajos relacionados en la detección de patrones, autor o autores que trabajan en el proyecto, tipo de red neuronal utilizada para la detección de patrones y los resultados obtenidos.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de trabajos relacionados

Análisis comparativo de trabajos relacionados				
Autores	Artículo	Problema	Solución	Resultado
Padilla Valencia, Pedro; Carrasco Martínez, Azucena Del Carmen; Méndez Hernández Berenice Viridiana	<i>Diseño de una interfaz gráfica para el control estadístico de procesos</i>	Se necesitan establecer sistemas de medición durante los procesos de calidad así como un alto grado de automatización para que los sistemas de calidad sean eficientes.	Diseñar y desarrollar una interfaz para facilitar el análisis estadístico de datos mediante el uso del software Matlab	La interfaz desarrollada muestra el comportamiento del proceso en un intervalo de tiempo determinado por una gráfica $\bar{X}$ y una grafica $R$ para formular un reporte general.
Gasper Skulj, Rok Vrabic, Peter Butala, Alojzij Sluga	<i>Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study</i>	El soporte de operaciones es uno de los requisitos para el éxito competitivo en las organizaciones manufactureras modernas. La implementación de CEP requiere de una cierta cantidad de conocimiento y comprensión estadística, para las grandes empresas esto no es un problema sin embargo las pequeñas empresas son incapaces de	Presentar un enfoque de servicio de datos para el CEP a través de servicios web.	El enfoque presentado hace uso de herramientas estadísticas y gráficos en línea para la representación de resultados en tiempo real. Este enfoque se crea como una opción de bajo costo para pequeñas y grandes industrias.

Análisis comparativo de trabajos relacionados				
Autores	Artículo	Problema	Solución	Resultado
		obtener este conocimiento.		
Ignatio Madanhire, Charles Mbohwa	<i>Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country</i>	Abordar la deficiencia de la literatura en la aplicación de CEP.	Realizar el estudio de la herramienta de control estadístico de procesos en sistemas de fabricación con el objetivo de mejorar la rentabilidad y la calidad.	CEP permite una detección temprana y prevención de problemas y presenta ventajas sobre otros métodos de calidad.
Gejdos Pavol	<i>Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control</i>	Herramientas como el índice de capacidad, histogramas, gráficos de control, entre otros. Permiten determinar de forma fiable la variabilidad anómala en el proceso y contribuir así a mejorar la calidad.	Presentar a través de histogramas y gráficos de control las consecuencias sistémicas de los procesos y la variabilidad natural en los procesos.	Los gráficos presentados muestran la contribución de la distribución normal de las frecuencias monitorizadas. El uso de estas herramientas de calidad estadística es una manera de conseguir la mejora continua de la calidad.
Hui Yin, Guojon Zhang, Haiping Zhu, Yuhao Deng, Fei He	<i>An integrated model of statistical process control and maintenance</i>	Con la creciente complejidad de los sistemas de producción, la teoría del control estadístico de procesos y la decisión de	Definir un modelo integrado de control estadístico de procesos.	Los resultados en un ejemplo numérico indican el rendimiento satisfactorio del modelo propuesto.

Análisis comparativo de trabajos relacionados				
Autores	Artículo	Problema	Solución	Resultado
	<i>based on the delayed monitoring</i>	mantenimiento se combinan de forma sintética para establecer un modelo integrado.		
Alberto Isaac Pierdant Rodríguez, Jesús Rodríguez Franco	<i>Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas <math>\bar{X}</math> y <math>R</math></i>	Las empresas y organismos públicos que proporcionan servicios en México no utilizan frecuentemente técnicas cuantitativas para el control de calidad de dicho servicio.	Presentar una propuesta de control de calidad mediante herramientas simples de control estadístico de calidad, para determinar si la prestación de un servicio se encuentra bajo control dentro de los estándares establecidos o fuera de ellos.	La aplicación de la mecánica del control de calidad de un servicio mediante las gráficas de control para variables permitiría identificar áreas de oportunidad e implementar mejoras en la calidad del servicio.

Como resultado del análisis, se concluye que para llevar a cabo el diseño y desarrollo de la herramienta propuesta se cuenta con varios enfoques de diversos autores para las tareas involucradas en las cuales abarcan en su mayoría gráficos  $\bar{X} - R$ , dejando como área de oportunidad el desarrollo de gráficos  $\bar{X} - S$ .

Tabla 2.2 Análisis comparativo de trabajos relacionados con el reconocimiento de patrones

Autor	o	Título	Método utilizado	Resultado
<b>Autores</b>				
A. Ebrahimzadeh y V. Ranaee	A	hybrid intelligent technique for recognition	Sistema de reconocimiento heurístico híbrido basado en la	Los resultados muestran gran porcentaje de reconocimiento. La selección de características

Autor o Autores	Titulo	Método utilizado	Resultado
	control chart patterns	optimización de enjambre de partículas.	optimiza la tasa de reconocimiento
J.H. Yang y M.S. Yang	A control chart pattern recognition system using a statistical correlation coefficient method	Coeficiente de correlación estadístico.	Se presenta como un método eficaz en el reconocimiento de patrones sin un proceso de entrenamiento largo.
C. Cheng	A neural network approach for the analysis of control chart patterns	Perceptrón multicapa y red neuronal modular.	La red neuronal modular presenta un mayor porcentaje de reconocimiento que el perceptrón multicapa entrenado con retro propagación.
G. Ruey-Shy y H. Yi-Chih	A neural network based model for abnormal pattern recognition of control charts	Red neuronal artificial entrenada con algoritmo de retro propagación.	La red propuesta muestra un buen porcentaje de reconocimiento en patrones mixtos.
Y. Jianbo, X. Lifeng y W. Bin	A Neural Network Ensemble Approach for the Recognition of SPC Chart Patterns	Optimización de enjambre de partículas discretas	Los resultados de la simulación indican que la integración de datos en bruto y el método propuesto basado en características estadísticas muestra el mejor rendimiento.



Autor o Autores	Titulo	Método utilizado	Resultado
C. Zhiqiang y M. YiZhong	A Research about Pattern Recognition of Control Chart Using Probability Neural Network	Red neuronal probabilística	Los resultados de las simulaciones muestran un alta porcentaje de reconocimiento y velocidad de procesamiento.
M. Perry, J. Sporre y T. Velasco	Control chart pattern recognition using back propagation artificial neural networks	Dos redes neuronales artificiales entrenadas con algoritmo de retro propagación.	Los resultados indican que las redes neuronales entrenadas con el algoritmo de retro propagación presentan un grado alto de reconocimiento de patrones en gráficos de control.
Y. Al-Assaf	Recognition of control chart patterns using multi-resolution wavelets analysis and neural networks,	Análisis Multi-Wavelet y una red neuronal artificial.	Los resultados muestran que el desempeño de la propuesta clasificando patrones de tendencia y cíclicos es superior a otros clasificadores.
B. K. Bhattacharyya y S. Chakraborty	Recognition of quality control chart patterns based on back propagation neural network	Red neuronal entrenada con algoritmo de retro propagación.	Los resultados muestran que la red neuronal propuesta tiene buen desempeño en reconocimiento de patrones de manera rápida y flexible para reconocer en tiempo real.
P. Duc y S. Seref	Training multilayered	Perceptron multicapa con	Los resultados muestran que de los diferentes métodos

Autor o Autores	Titulo	Método utilizado	Resultado
	perceptrons for pattern recognition: a comparative study of four training algorithms	distintos métodos de entrenamiento.	analizados el algoritmo de retro propagación presenta mejores resultados.
J. Addeha, A. Ebrahimzadehb, M. Azarbadb y V. Ranaeeb	Statistical process control using optimized neural networks: A case study	Perceptrón multicapa con dos módulos de pre procesamiento de datos.	Los resultados de la simulación muestran que la propuesta tiene buen desempeño en el reconocimiento de patrones.
G. Ruey-Shiang	A hybrid learning-based model for on-line detection and analysis of control chart patterns	Modelo basado en el aprendizaje híbrido	El modelo presentado es capaz de reconocer hasta siete patrones no naturales en gráficos de control.
J. Addeh, A. Bayat y A. G. Gharekhani	Control Chart Patterns Recognition Using Optimized Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Wavelet Analysis	Sistema adaptativo de inferencia neuro-difusa	Los resultados de la simulación muestran que el sistema propuesto tiene una alta precisión de reconocimiento.
W. Chih-Hsuan, G. Ruey-Shan,	Decision tree based control	Árbol de decisión	Los resultados muestran que el método propuesto tiene una alta

Autor	o Titulo	Método utilizado	Resultado
<b>Autores</b>			
C. Ming-Huang y W. Jehn-Yih	chart pattern recognition		precisión requiriendo menos trabajo que otros métodos.

Como resultado del análisis, se concluye que para llevar a cabo la construcción y desarrollo del reconocedor de patrones dentro de la herramienta propuesta se cuenta con varios enfoques de diversos autores encontrando que una red neuronal con estructura de perceptrón multicapa entrenada bajo el algoritmo de retro propagación muestra buenos resultados en los trabajos analizados.

### **Propuesta de Solución**

En esta sección se realiza una selección de diversas tecnologías presentadas en el capítulo de antecedentes del presente trabajo de tesis, considerando; lenguajes de programación con enfoque al análisis estadístico. Además se presenta una solución propuesta que incluye la justificación con base a elección por criterios seleccionados.

### **Solución Propuesta**

La solución que se propone se fundamenta principalmente en dos criterios: el primero es la facilidad de desarrollo de las tecnologías analizadas en el capítulo uno y el segundo se basa en los resultados obtenidos en los trabajos relacionados. Se propone que el desarrollo de la herramienta sea mediante el uso de las siguientes Tecnologías de Información: R, Shiny, Neuralnet. Estas tecnologías proveen las herramientas necesarias para construir la herramienta informática que soporte la creación de gráficos de control, la interacción en la interfaz de usuario y la detección de patrones de inestabilidad. R y Shiny son desarrollados por RStudio, lo que permite una integración estable, segura y eficiente, con lo cual será posible proporcionar a los usuarios finales la información deseada. A continuación se describe brevemente cada una de las tecnologías a utilizar.

- R, dispone de almacenamiento y manipulación de datos, operadores para cálculo sobre variables indexadas, en particular matrices, una amplia e integrada colección de herramientas para análisis de datos, posibilidades gráficas para análisis de datos.
- Shiny es un paquete de código abierto de R que proporciona un marco de trabajo elegante y potente para la construcción de aplicaciones web utilizando R.
- Neuralnet es un paquete de R de sencilla utilización que permite la aplicación, visualización e implementación de redes neuronales.

R proveerá el soporte necesario para las operaciones estadísticas a realizar para el cálculo de los diferentes elementos en los gráficos de control, Shiny aporta los componentes necesarios para incorporar el contenido de manera dinámica para el usuario y Neuralnet proporciona las herramientas necesarias para hacer uso de redes neuronales, en específico de redes neuronales artificiales con estructura multicapa. RStudio incluye soporte total para R y sus diferentes

paquetes. Las tecnologías a utilizar en su totalidad son de código abierto, es decir, el conjunto de tecnologías de información a utilizar se encuentran disponibles para su adquisición y uso de manera gratuita, esto implica que el desarrollo de la herramienta propuesta en esta tesis no involucre realizar una inversión económica en la adquisición de software necesario que brinde el soporte para la construcción de la misma.

### Capítulo 3. Metodología

En el presente capítulo se describe el diseño de la herramienta propuesta, la arquitectura de la aplicación, las tecnologías a implementar, y se expresan a través de pasos el funcionamiento de la arquitectura utilizada.

#### Diseño de la herramienta

Identificar los requerimientos:

3.1.

La herramienta desarrollada es una aplicación Web, que permite a los usuarios realizar de manera sencilla gráficos de control por variables, teniendo como opciones el poder generar gráficos  $\bar{X} - R$  y gráficos  $\bar{X} - S$ . Realizar un análisis de los patrones dentro de los gráficos generados y entregar un resumen de las características importantes calculadas. La captura de los datos se realiza mediante la carga de un archivo .CSV, estos archivos .CSV pueden o no contener cabecera para los datos y estar delimitados de diferentes maneras. El usuario además podrá guardar el gráfico generado para su uso en formato de imagen.

Analizar los requerimientos

Los requerimientos funcionales se expresan de manera textual a continuación: La herramienta se integra de una única vista disponible al usuario, la cual aloja las diversas vistas para llevar a cabo la funcionalidad requerida a través de pestañas, las vistas son:

- Principal: Muestra información relacionada a la carga del archivo .CSV
- Datos: Muestra la información del archivo .CSV una vez cargado.
- Gráfico  $\bar{X} - R$ : Muestra el gráfico  $\bar{X} - R$  generado a partir de los datos del archivo .CSV, además del análisis del reconocedor de patrones y los valores de las características del gráfico.
- Gráfico  $R$ : Muestra el gráfico  $R$  generado a partir de los datos del archivo .CSV, además del análisis del reconocedor de patrones y los valores de las características del gráfico.

- Gráfico  $\bar{X} - S$ : Muestra el gráfico  $\bar{X} - S$  generado a partir de los datos del archivo .CSV, además del análisis del reconocedor de patrones y los valores de las características del gráfico.
- Gráfico  $S$ : Muestra el gráfico  $S$  generado a partir de los datos del archivo .CSV, además del análisis del reconocedor de patrones y los valores de las características del gráfico.

### Arquitectura de desarrollo

3.1.1. La figura 3.1 representa la arquitectura de desarrollo de la herramienta propuesta en este tema de tesis. La arquitectura se basa en el modelo de desarrollo utilizado por las aplicaciones desarrolladas en R y Shiny.

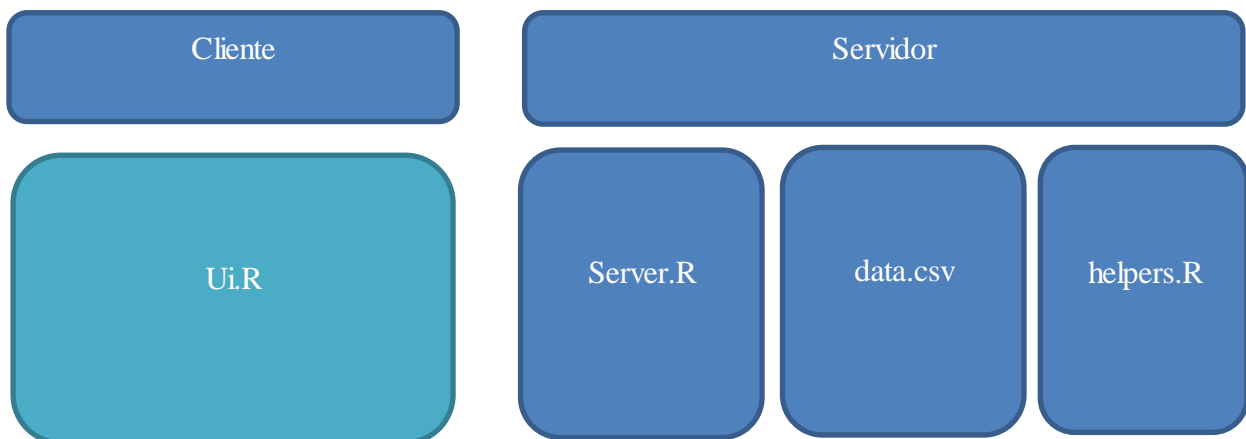


Figura 3.1 Arquitectura de desarrollo

En la parte correspondiente al servidor se estructura siguiendo el modelo de diseño de aplicaciones con R, **server.R** carga, analiza y da formato a los datos, **data.csv** contendrá los datos cargados por la aplicación desde el archivo .CSV que requiere para llevar a cabo las funciones de cálculo y graficación, **helpers.R** contiene funciones auxiliares para formatear datos para las salidas en HTML.

### Modelo conceptual

El modelo conceptual requerido para realizar la implementación de los requerimientos expresados anteriormente se muestra en la figura 3.2, 3.3 y 3.4. En la figura 3.2 Se muestran las salidas necesarias para representar el modelo utilizado dentro de la herramienta.

3.1.2.

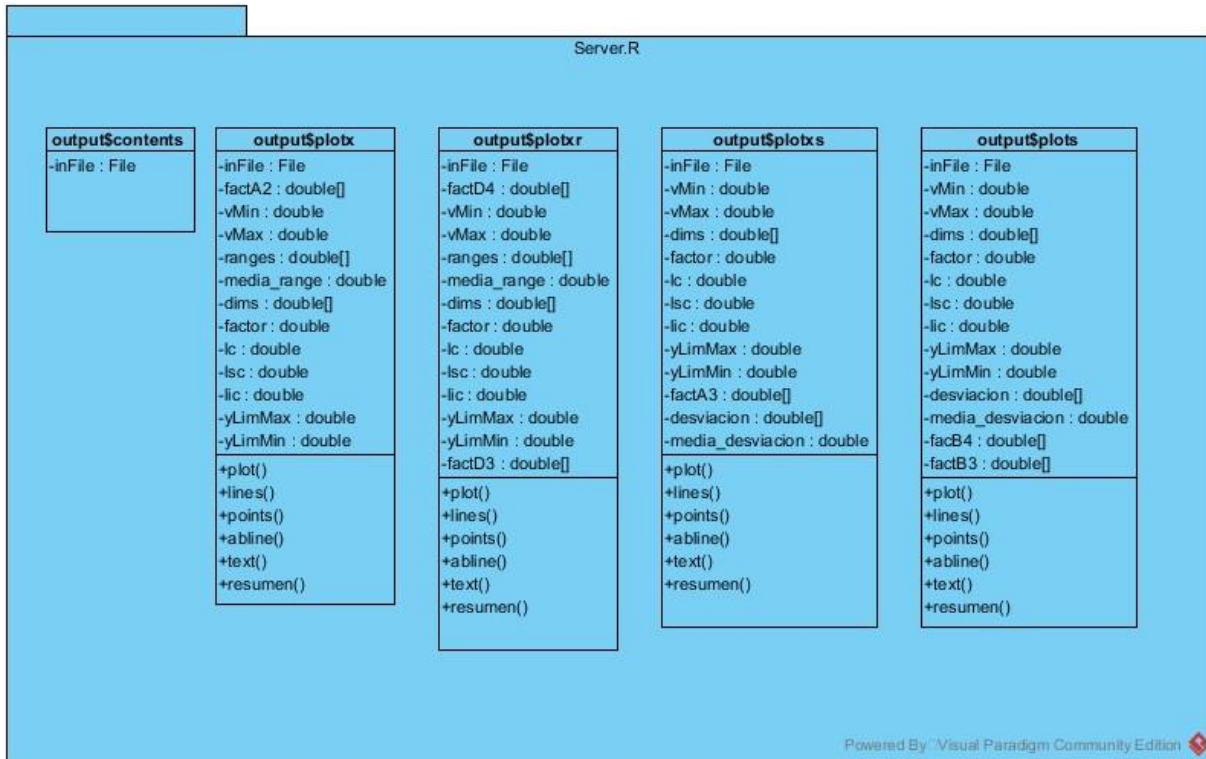


Figura 3.2 Modelo Conceptual Server.R



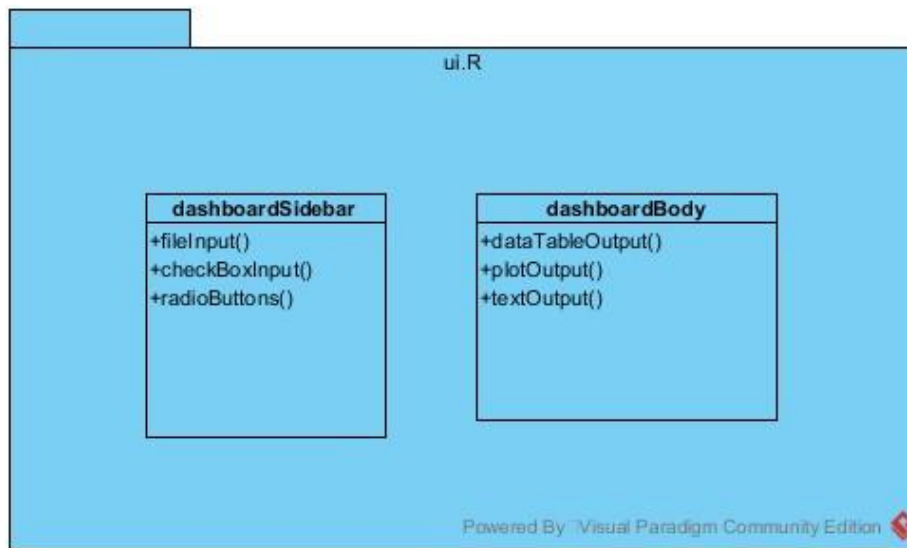


Figura 3.3 Modelo conceptual ui.R

En la figura 3.3 se muestran los elementos de entrada y los elementos de salida necesarios para representar el modelo utilizado dentro de la herramienta. Una de las características de Shiny es la programación reactiva, que vincula los valores de entrada en el **ui.R** con los valores de salida de **Server.R**, en la figura 3.4 se muestra la vinculación de los valores entre los elementos de entrada y los elementos de salida necesarios para la implementación de los requerimientos.

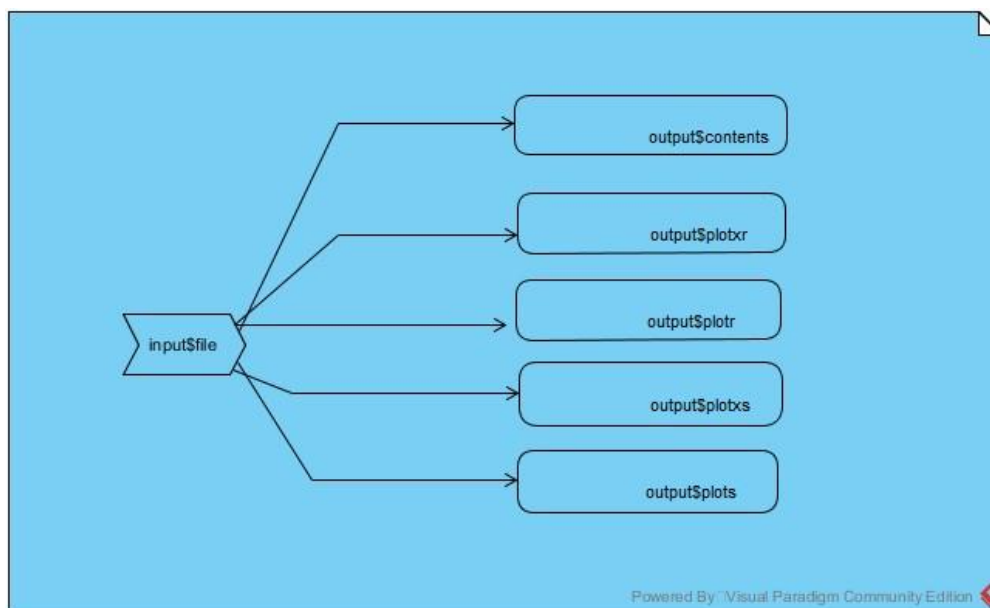


Figura 3.4 Vinculación valores de salidas y valores de entrada

### Flujo de Trabajo

La interrelación de los componentes de entrada y salida define el flujo de trabajo para el proceso de cálculo y generación de los gráficos de control. El flujo de datos que se procesan durante la ejecución de la herramienta se describe a continuación:

3.2.

1. El usuario elige el archivo .CSV que contendrá los datos a graficar, elige además el tipo de configuración del archivo.
2. Una vez seleccionado se envía como una entrada realizada por Shiny.
3. En el servidor se procesa la entrada y ejecuta las salidas correspondientes.
4. El constructor de respuesta de Shiny envía los resultados con el formato apropiado para su despliegue en el navegador cliente.

En la figura 3.5 se muestra la secuencia de procesamiento de datos. **Ui.R** procesa una entrada definida como **input\$file** que contiene el archivo .CSV seleccionado, la entrada es enviada a **server.R** para su procesamiento en cada salida, así tenemos un ciclo de acciones por cada una de ellas. **Output\$content**, **output\$plotxr**, **output\$plotr**, **output\$plotxs**, **output\$plots** contienen los métodos y procesos para el cálculo de las características necesarias para generar el gráfico de control. **Model\_rna.rda** contiene el modelo de red neuronal generado para el reconocimiento de patrones, este recibe los datos calculados en cada salida y los procesa para dar una respuesta. Una vez procesado y calculado los datos en cada una de las salidas estas pasan por el constructor de respuesta de Shiny para darle un formato adecuado para el despliegue y visualización en el navegador cliente.

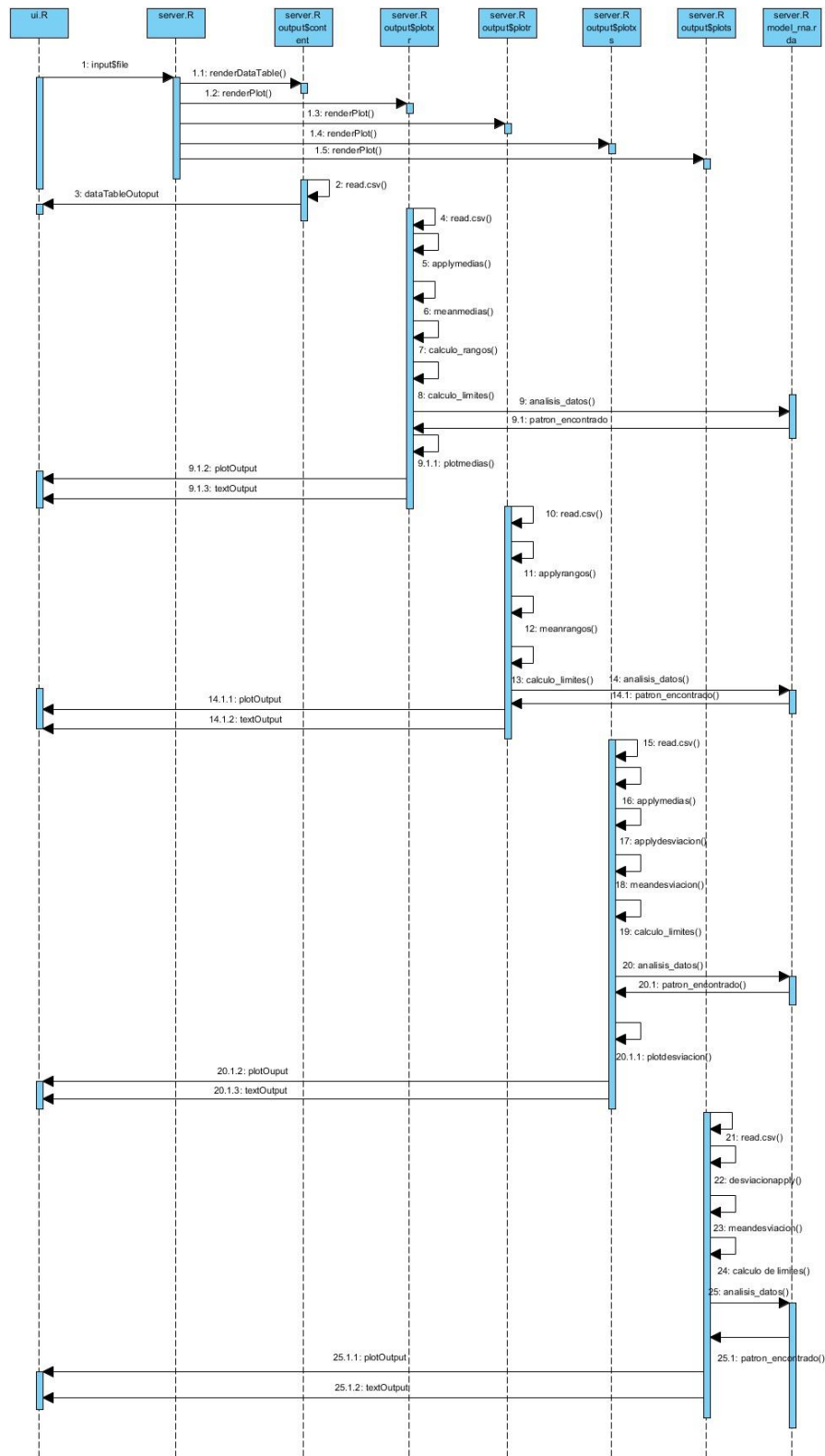


Figura 3.5 Secuencia de procesamiento de datos

### Red Neuronal desarrollada

3.3. Dentro de la herramienta, se utiliza un perceptrón multicapa para el reconocimiento de patrones en gráficos de control. Los gráficos de control se utilizan para supervisar el comportamiento de un proceso. Los 6 tipos principales de patrones que se pueden observar en un gráfico de control: normal (NR), cíclico (CC), desplazamiento hacia abajo (DS), desplazamiento hacia arriba (US), tendencia creciente (UT) y tendencia decreciente (DT). Todos los patrones, excepto el patrón normal, indican que el proceso que se está monitoreando no está funcionando correctamente y requiere ajuste.

Para el entrenamiento de la red neuronal, los patrones de los seis diferentes tipos fueron generados replicando datos registrados de una empresa alimentaria, obtenidos en un estudio para ver el estado de control de sus procesos [4]. Cada patrón se tomó como una serie de tiempo de 24 datos. Cuatrocientos veinte patrones, 70 de cada tipo se generaron en total. Doscientos cuarenta patrones se utilizaron para la formación del clasificador perceptrón multicapa y el resto para la prueba del clasificador entrenado.

Cada red contó con 24 neuronas de entrada, una para cada dato en la serie temporal y 6 neuronas de salida, una para cada tipo de patrón de gráfico de control. La tabla 3.1 representa los patrones de gráficos de control y la representación de las salidas de la red neuronal deseadas.

Tabla 3.1 Representación de las salidas deseadas de la red neuronal.

Clase	Descripción	Salida de la Red neuronal					
1	Tendencia creciente (UT)	1	0	0	0	0	0
2	Tendencia decreciente (DT)	0	1	0	0	0	0
3	Normal (NR)	0	0	1	0	0	0
4	Cíclico (CC)	0	0	0	1	0	0
5	Desplazamiento hacia arriba (US)	0	0	0	0	1	0
6	Desplazamiento hacia abajo (DS)	0	0	0	0	0	1

La estructura del clasificador propuesto se muestra en la Figura 3.5. Se observa que este sistema se compone de una capa oculta de tres neuronas. El número de capas ocultas fue elegido ya que se había encontrado adecuado para la mayoría de los problemas de clasificación. El clasificador fue entrenado utilizando el algoritmo de retro propagación. Los valores de los parámetros de entrenamiento adoptados para los algoritmos se determinaron empíricamente. Fueron los siguientes: para retro propagación  $\alpha = 0.9$  y  $\mu = 0.5$ .

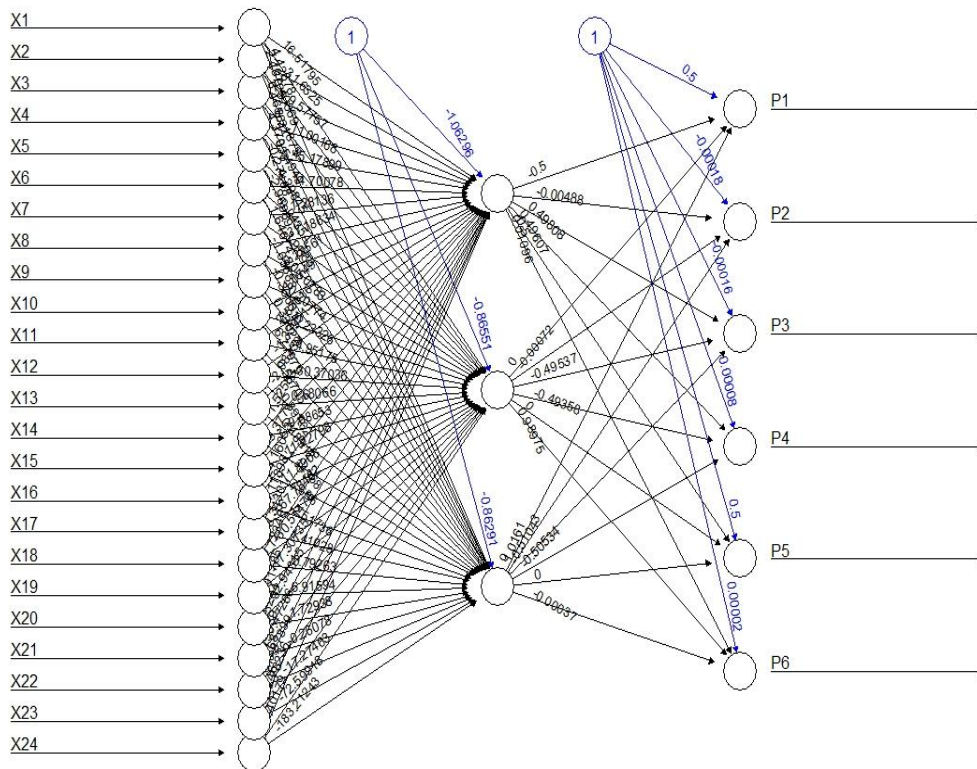


Figura 3.6 Estructura del clasificador propuesto.

Se registró el número de iteraciones de entrenamiento requeridas para lograr el valor de  $E$ . El criterio de parada real empleado fue la suma de los cuadrados del error, que se define como:

$$SSE = \sum_{i=j}^M \sum_{j=1}^N (y_{aj}^{(i)} - y_j^{(i)})^2 \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de salidas y  $M$  es el número de patrones en el conjunto de entrenamiento. El clasificador fue entrenado hasta que se definió el número de iteraciones fijado en 1000.

Para el desarrollo de la red, se utilizó el 60% de los datos para la formación del clasificador y el resto para la prueba. La manera típica de evaluar la tasa de rendimiento es elegir un conjunto de pruebas independiente del conjunto de entrenamiento para clasificar sus elementos, contar los elementos que se han clasificado correctamente y dividir por el tamaño del conjunto de pruebas. La proporción de elementos del conjunto de pruebas que clasifican correctamente del total de elementos estima el rendimiento del clasificador para cada patrón.

Tabla 3.2 Precisión de Reconocimiento del clasificador

Clase	Descripción	Precisión de clasificación (%)
<b>1</b>	Tendencia creciente (UT)	93.33
<b>2</b>	Tendencia decreciente (DT)	90.00
<b>3</b>	Normal (NR)	96.67
<b>4</b>	Cíclico (CC)	83.33
<b>5</b>	Desplazamiento hacia arriba (US)	90.00
<b>6</b>	Desplazamiento hacia abajo (DS)	93.33

Los valores en la matriz diagonal de confusión muestran el desempeño correcto del clasificador para cada patrón. Estos valores muestran que varios de los patrones considerados son reconocidos correctamente. Por ejemplo, en la primera fila de la matriz, en la Tabla 3, el valor 93.333% muestra el porcentaje de reconocimiento correcto del patrón de tendencia creciente y el valor 6.666% muestra que este tipo de patrón se reconoce erróneamente con el patrón de desplazamiento hacia arriba.

Tabla 3.3 Matriz de confusión del clasificador (%)

	UT	DT	NR	CC	US	DS
UT	93.3	0	0	0	6.666	0
DT	0	90.00	0	0	0	10
NR	0	0	96.67	3.33	0	0
CC	3.33	3.33	10.00	83.33	0	0
US	10.00	0	0	0	90.00	0
DS		6.67				93.33

La configuración final del clasificador se compone de una capa oculta con tres neuronas, entrenado con el algoritmo de retro propagación para el reconocimiento de los seis patrones básicos en gráficos de control. La complejidad de este clasificador propuesto es menor a otras trabajos analizados no obstante la precisión más alta obtenida de manera preliminar es de 96.67%.

### Aplicación de R

3.4.

Por medio de R se desarrollaron los mecanismos para proporcionar los cálculos necesarios para la graficación y análisis de los datos, como son: carga del archivo .CSV, cálculo de los límites de control, graficación de medias, rangos y desviación estándar. El siguiente fragmento de código proporciona un ejemplo de la aplicación de R en la herramienta.

```

1. plot(medias, main = "Gráfica X-R", xlab = "X", ylab = "Y",
2.      xlim =c(0,length(medias)), ylim = c((lin),(lsp)))
3.   lines(medias,lty="dotted", col="green")
4.   points(medias,bg="limegreen", pch=21)
5.   abline(h=lc,col="red")
6.   abline(h=lic,col="red",lty=2)
7.   abline(h=lsc,col="red",lty=2)
8.   text(length(medias),lic, "LIC",pos = 3)
9.   text(length(medias),lsc, "LSC",pos = 3)
10.  text(length(medias),lc, "LC",pos = 3)
11.  i<-1
12.  while(i<=length(medias)){if(medias[i]> lsc)
13.    points(i,medias[i],bg="red",pch=21); i<-i+1 }
14.  j<-1
15.  while(j<=length(medias)){if(medias[j]< lic)
16.    points(j,medias[j],bg="red",pch=21); j<-j+1 }

```

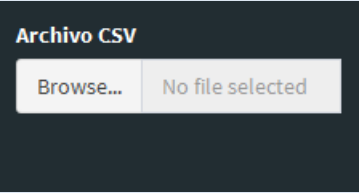

Figura 3.7 Ejemplo de aplicación del lenguaje R en la herramienta.

## Aplicación de Shiny

Los *widgets* de Shiny utilizados en el desarrollo de la interfaz se especifican en la tabla 3.4.

3.5.

Tabla 3.4 Widgets Shiny utilizados

Nombre del <i>Widget</i>	Características	Métodos aplicados
<p><b>fileInput</b></p> 	<p>Crea un archivo de control de carga que se puede utilizar para cargar uno o más archivos. Al completarse la carga de archivos, la variable de entrada correspondiente se establece como un marco de datos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accept()</li> <li>• inputId()</li> <li>• label()</li> </ul>
<p><b>checkboxInput</b></p> 	<p>Control de entrada con casillas de verificación que se puede utilizar para especificar valores lógicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inputId()</li> <li>• label()</li> <li>• value()</li> </ul>
<p><b>radioButtons</b></p>	<p>Conjunto de botones de opción para seleccionar un elemento de una lista.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inputId()</li> <li>• label()</li> <li>• choices()</li> <li>• selected()</li> </ul>



Nombre del Widget	Características	Métodos aplicados
<p><b>Tipo de separador</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Coma</li> <li><input checked="" type="radio"/> PuntoComa</li> <li><input type="radio"/> Tabulador</li> </ul>		
<p><b>plotOutput</b></p> 	<p>Un gráfico o elemento de salida de imagen que se puede incluir en un panel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• outputId()</li> <li>• width()</li> <li>• height()</li> <li>• inline()</li> </ul>
<p><b>downloadButton</b></p> 	<p>Control que crea un botón o vínculo de descarga, cuando se hace clic, se iniciara una descarga desde el navegador, el nombre del archivo y el contenido se especifican mediante el <i>downloadHandler()</i> correspondiente en el servidor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• outputId()</li> <li>• label()</li> </ul>

La interfaz desarrollada con Shiny se encuentra en el archivo **Ui.R**. El código siguiente ejemplifica parte de la interfaz desarrollada con los controles seleccionados.

```

1. library(shinydashboard)
2.
3. ui<-dashboardPage(
4.   dashboardHeader(title = "Gráficos de Control por Variables", titleWidth =
5.   350),
6.   dashboardSidebar(
7.     fileInput('file1', 'Archivo CSV',
8.               accept=c('text/csv',
9.               'text/comma-separated-values,text/plain',
10.              '.csv')),
11.     checkboxInput('header', 'Cabecera', TRUE ),
12.     tags$hr(),
13.     radioButtons('sep', 'Tipo de separador',
14.                  c(Coma=',',
15.                    PuntoComa=';',
16.                    Tabulador='\t',
17.                    ','),
18.                  tags$hr(),
19.                  radioButtons('quote', 'Comilla',
20.                                c(Comilla=",
21.                                  'Doble Comilla'='"',
22.                                  'Comilla simple'="'"),
23.                                "")),
24.     dashboardBody(tabsetPanel(type="tabs",
25.                                tabPanel("Datos",
26.                                          fluidRow(box(width=12,status="primary",dataTableOutput('contents2')))))

```

Figura 3.8 Código de carga de archivo desarrollado para la herramienta

## Capítulo 4. Resultados

### Casos de estudio

#### Caso de Estudio: Gráfico de Control $\bar{X} - R$

- 4.1. En una empresa del ramo metalmeccánico se fabrican punterías para motores automóviles. Cierta puntería debe tener un diámetro exterior de 20 000 micras ( $\mu m$ ); donde 1  $\mu m$  es igual a 0.000001 m, con una tolerancia de  $\pm 25 \mu m$ . De esta manera, si a las mediciones del diámetro se les reserva el valor nominal deseado, entonces las especificaciones serán  $EI = -25$  y  $ES = 25$ .
- 4.1.1.

Para evaluar la estabilidad del proceso se realiza un estudio inicial, donde es usual obtener por lo menos de 20 a 25 subgrupos (muestras) de tamaño pequeño (entre 5 y 10 por lo general). Además, estos subgrupos deben estar espaciados, de forma que capten el funcionamiento del proceso en un periodo suficientemente amplio para que se capten diferentes cambios en el proceso (turnos, lotes, etc.). En el caso de las punterías, cada hora se mide el diámetro de cinco de estas y en la tabla 4.1 se muestran los datos de cuatro turnos (dos días). Para evaluar la estabilidad de la tendencia central se analizará la variación de la columna de medias de la tabla 4.1 mediante la carta  $\bar{X}$ , y de la misma manera mediante la carta  $R$  se analizará la columna de rangos para investigar la estabilidad de la variación del diámetro de las punterías. Sin embargo, primero se necesitan calcular los límites de control [7].

Tabla 4.1 Mediciones de diámetro para gráfico  $\bar{X} - R$

Muestra o Subgrupo	Mediciones del diámetro				
1	-21	-5	21	3	-12
2	4	3	7	22	-18

<b>Muestra o Subgrupo</b>	<b>Mediciones del diámetro</b>				
<b>3</b>	-13	7	-11	-7	7
<b>4</b>	15	7	26	7	-4
<b>5</b>	0	13	6	-20	6
<b>6</b>	1	4	3	9	-10
<b>7</b>	-4	0	-5	11	2
<b>8</b>	3	-13	3	-13	9
<b>9</b>	7	0	5	11	4
<b>10</b>	17	3	2	-23	-4
<b>11</b>	15	-5	2	12	5
<b>12</b>	5	-1	2	-16	10
<b>13</b>	1	-2	-4	-16	10
<b>14</b>	-13	1	-6	11	4
<b>15</b>	2	-4	14	-6	-2
<b>16</b>	4	2	19	-1	6
<b>17</b>	6	8	2	9	-4
<b>18</b>	-22	1	-2	2	-7
<b>19</b>	-9	10	-8	-10	-2
<b>20</b>	0	-3	-13	14	-3
<b>21</b>	7	5	-1	-1	1
<b>22</b>	10	7	-8	-14	-33
<b>23</b>	-14	28	10	0	-2
<b>24</b>	-19	2	7	12	-9
<b>25</b>	10	5	14	-4	4
<b>26</b>	21	-16	-20	-3	10
<b>27</b>	22	-14	-5	-7	5
<b>28</b>	-1	1	4	-4	17
<b>29</b>	0	5	6	-19	-7

Muestra o Subgrupo	Mediciones del diámetro				
30	2	-19	12	-1	0

Como solución para el caso planteado anteriormente existe la herramienta propuesta en esta tesis, la cual para este caso de estudio su funcionamiento es el siguiente:

- El usuario ingresa a la herramienta. La figura 4.1 representa la vista principal

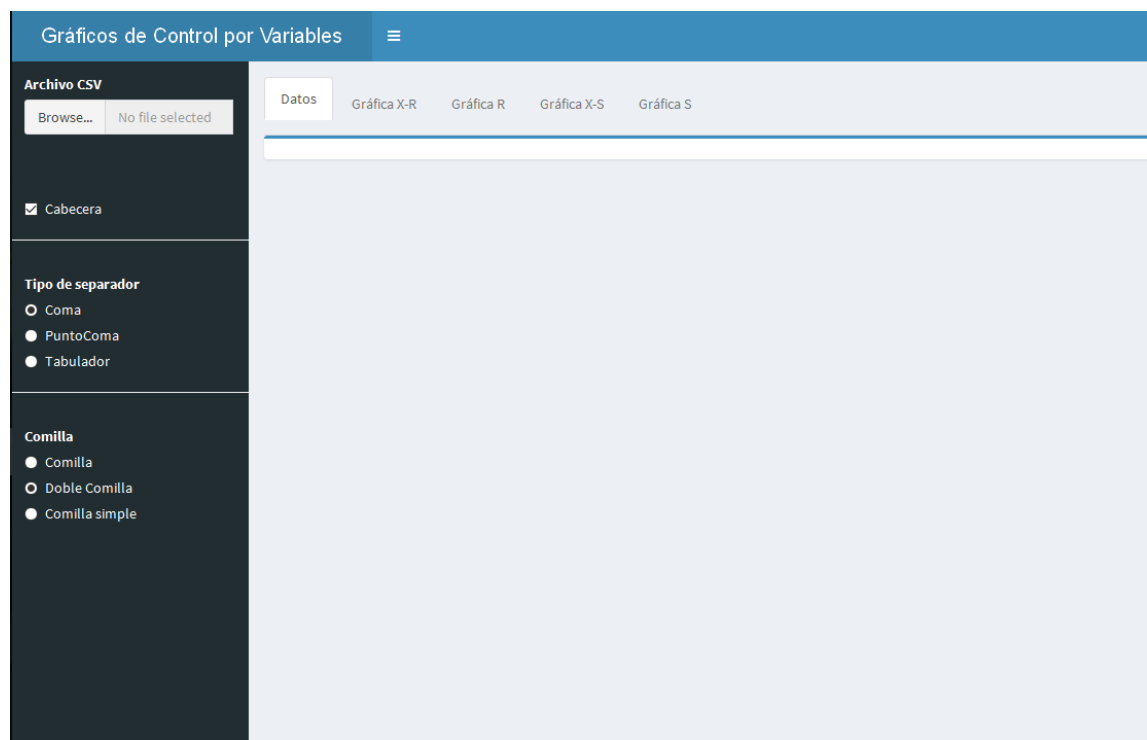


Figura 4.1 Vista principal

- El usuario selecciona el archivo .CSV que contiene los datos de las muestras o subgrupos en su dispositivo, para esto cuenta con el botón “Browse” en el menú lateral izquierdo de la herramienta.
- Opcionalmente el usuario cuenta con las opciones de seleccionar si es que el archivo cuenta con cabecera, el tipo de separador; coma, punto coma, tabulador; y el tipo de

comilla; comilla, doble comilla, comilla simple; dependiendo el formato en el que se encuentre su archivo .CSV para obtener mejores resultados.

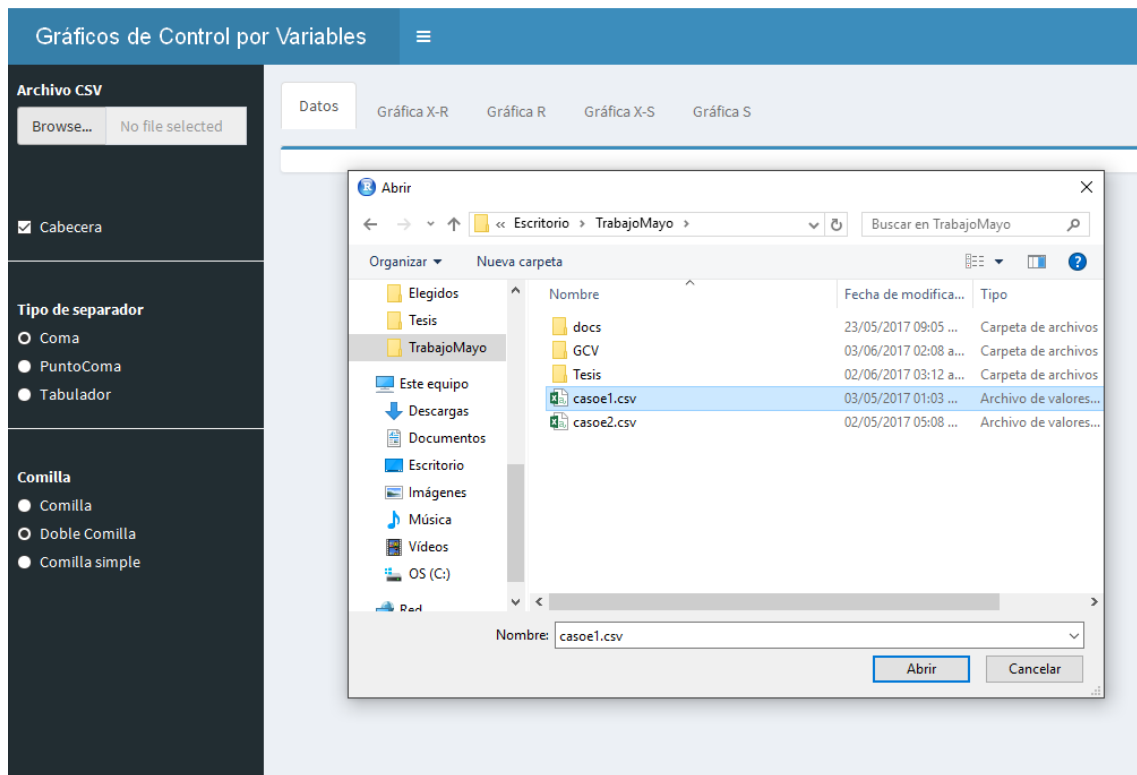


Figura 4.2 Carga de archivo .CSV

- Una vez completado el proceso de selección de características y carga de archivo la herramienta muestra los datos del archivo .CSV. La figura 4.3 representa el resultado de la acción anterior.

Gráficos de Control por Variables

Archivo CSV

Browse... casoe1.csv  
Upload complete

■ Cabecera

Tipo de separador

Coma

PuntoComa

Tabulador

Comilla

Comilla

Doble Comilla

Comilla simple

Datos Gráfica X-R Gráfica R Gráfica X-S Gráfica S

Show 25 entries Search:

V1	V2	V3	V4	V5
-21	-5	21	3	-12
4	3	7	22	-18
-13	7	-11	-7	7
15	7	26	7	-4
0	13	6	-20	6
1	4	3	9	-10
-4	0	-5	11	2
3	-13	3	-13	9
7	0	5	11	4
17	3	2	-23	-4
15	-5	2	12	5
5	-1	2	-16	10
1	-2	-4	-16	10

Figura 4.3 Despliegue de los datos contenidos en el archivo .CSV para  $\bar{X} - R$

- El usuario tiene la capacidad de navegar a través de las pestañas para observar la totalidad del resultado, donde se muestra la información generada a partir del archivo así como el gráfico de control resultante.



Figura 4.4 Gráfico  $\bar{X} - R$  generado a partir del archivo .CSV

- La totalidad del resultado contiene el gráfico de control generado a partir de los datos, el resumen de los cálculos del límite central, límite superior y límite inferior. Además el resultado del análisis del reconocedor de patrones.



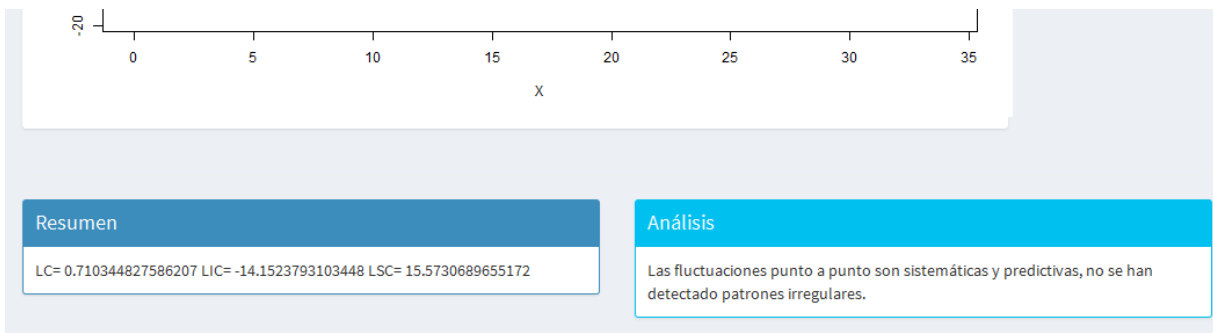


Figura 4.5 Resumen y Análisis generados en el gráfico  $\bar{X} - R$



Figura 4.6 Gráfico  $R$  generado a partir del archivo .CSV

Para validar el resultado generado por la herramienta se compara a continuación el gráfico generado con el gráfico que acompaña al problema del caso de estudio tomado del libro “Control estadístico de calidad y seis Sigma” de los autores Humberto Gutiérrez Pulido y Ramón de la Vara Salazar.

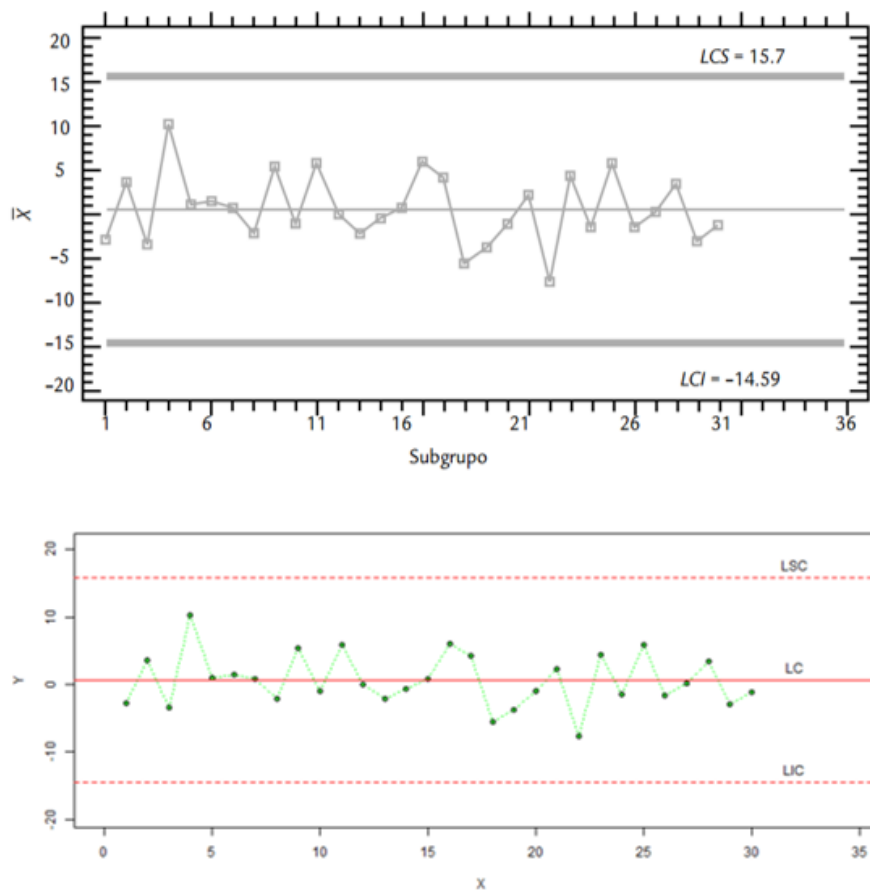


Figura 4.7 Comparativa de gráficos  $\bar{X} - R$

En la figura 4.6 se aprecia que los gráficos generados por la herramienta son calculados correctamente. En la parte superior de la figura 4.6 se presenta el gráfico validado y en la parte inferior el gráfico generado por la herramienta. No es posible comparar el

análisis dado por el reconocedor de patrones ya que no se tiene registro y se deja a consideración del experto la interpretación del gráfico.

### Caso de Estudio: Gráfico de Control $\bar{X} - S$

Los datos de la tabla 4.2 representan los resultados obtenidos de un proceso. Como se aprecia, el tamaño del subgrupo es de  $n = 10$ , y se tiene un total de 20 subgrupos [7].

4.1.2.

Tabla 4.2 Mediciones de proceso para gráfico  $\bar{X} - S$

Subgrupo	Mediciones									
1	50	41	21	52	55	45	62	55	28	51
2	60	44	61	61	53	36	60	45	71	57
3	69	53	65	63	54	35	37	66	55	39
4	40	67	64	46	53	64	43	39	48	38
5	46	60	75	55	56	59	60	73	75	60
6	45	50	57	45	35	61	35	53	58	31
7	46	56	48	43	30	56	50	48	41	50
8	62	59	52	47	68	46	47	44	38	54
9	61	79	49	55	58	39	41	58	28	67
10	27	62	51	50	39	40	51	47	61	60
11	58	55	46	68	66	58	42	50	52	35
12	65	20	42	75	36	65	24	65	62	33
13	52	58	62	55	53	44	52	41	46	61
14	44	50	53	61	54	59	54	55	32	50
15	35	47	60	59	64	48	52	55	64	49
16	50	58	44	48	37	46	43	66	51	52
17	45	52	56	61	47	76	44	66	43	38
18	40	72	25	67	47	33	54	42	50	40
19	52	52	42	60	52	35	42	37	58	65

Subgrupo	Mediciones									
20	50	23	37	48	52	48	33	39	60	77

Como solución para el caso planteado anteriormente existe la herramienta propuesta en esta tesis, la cual para este caso de estudio su funcionamiento es el siguiente:

- El usuario ingresa a la herramienta.
- El usuario selecciona el archivo .CSV que contiene los datos de las muestras o subgrupos en su dispositivo, para esto cuenta con el botón “Browse” en el menú lateral izquierdo de la herramienta.
- Opcionalmente el usuario cuenta con las opciones de seleccionar si es que el archivo cuenta con cabecera, el tipo de separador; coma, punto coma, tabulador; y el tipo de comilla; comilla, doble comilla, comilla simple; dependiendo el formato en el que se encuentre su archivo .CSV para obtener mejores resultados.
- Una vez completado el proceso de selección de características y carga de archivo la herramienta muestra los datos del archivo .CSV. La figura 4.8 representa el resultado de la acción anterior.

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
50	41	21	52	55	45	62	55	28	51
60	44	61	61	53	36	60	45	71	57
69	53	65	63	54	35	37	66	55	39
40	67	64	46	53	64	43	39	48	38
46	60	75	55	56	59	60	73	75	60
45	50	57	45	35	61	35	53	58	31
46	56	48	43	30	56	50	48	41	50
62	59	52	47	68	46	47	44	38	54
61	79	49	55	58	39	41	58	28	67
27	62	51	50	39	40	51	47	61	60
58	55	46	68	66	58	42	50	52	35
65	20	42	75	36	65	24	65	62	33
52	58	62	55	53	44	52	41	46	61
44	50	59	61	54	50	54	55	37	50

Figura 4.8 Despliegue de los datos contenidos en el archivo .CSV para  $\bar{X} - S$

- El usuario tiene la capacidad de navegar a través de las pestañas para observar la totalidad del resultado, donde se muestra la información generada a partir del archivo así como el gráfico de control resultante.

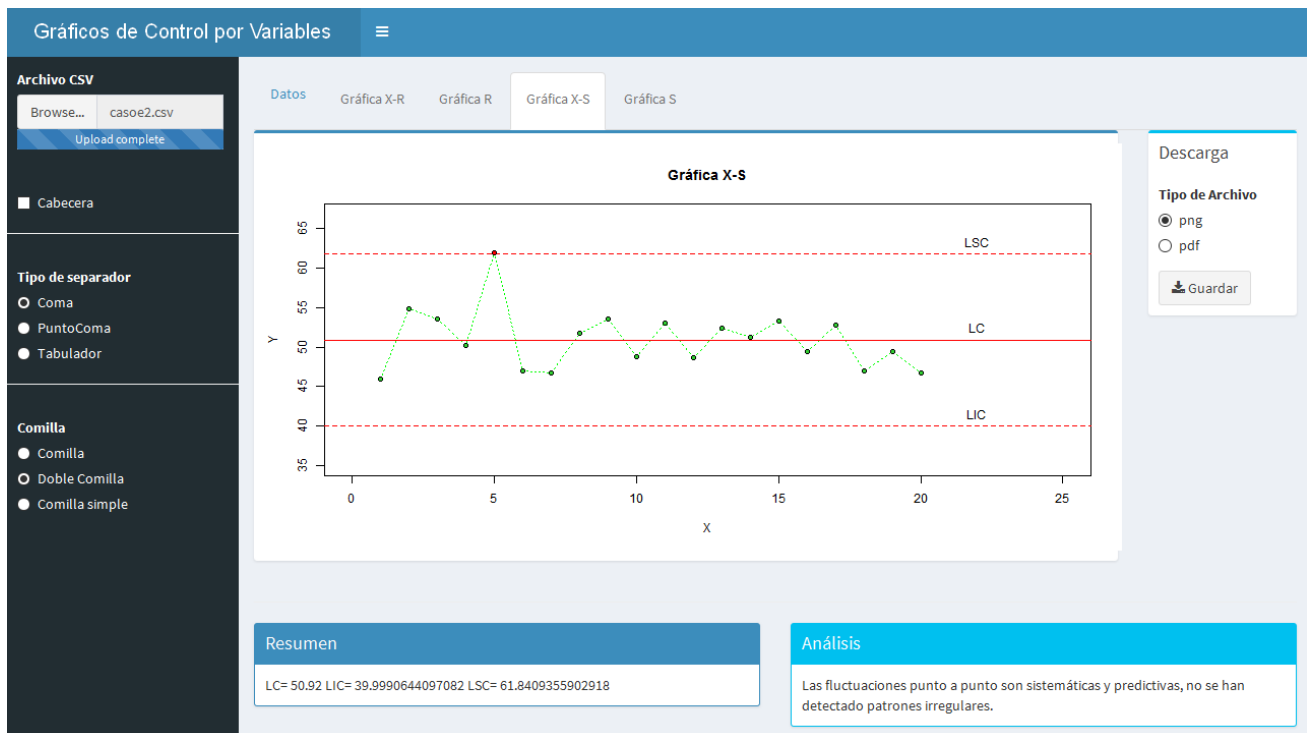


Figura 4.9 Gráfico  $\bar{X} - S$  generado a partir del archivo .CSV

- La totalidad del resultado contiene el gráfico de control generado a partir de los datos, el resumen de los cálculos del límite central, límite superior y límite inferior. Además el resultado del análisis del reconocedor de patrones.

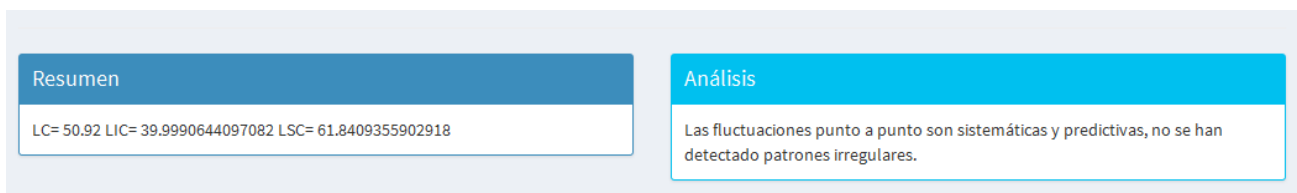


Figura 4.10 Resumen y Análisis generados en el gráfico  $\bar{X} - S$ Figura 4.11 Gráfico  $S$  generado a partir del archivo .CSV

Para validar el resultado generado por la herramienta se compara a continuación el gráfico generado con el gráfico generado por la herramienta Minitab basándose en el problema del caso de estudio tomado del libro “Control estadístico de calidad y seis Sigma” de los autores Humberto Gutiérrez Pulido y Ramón de la Vara Salazar. Minitab es un programa diseñado para ejecutar funciones estadísticas avanzadas y uno de los más usados en la generación de gráficos de control.

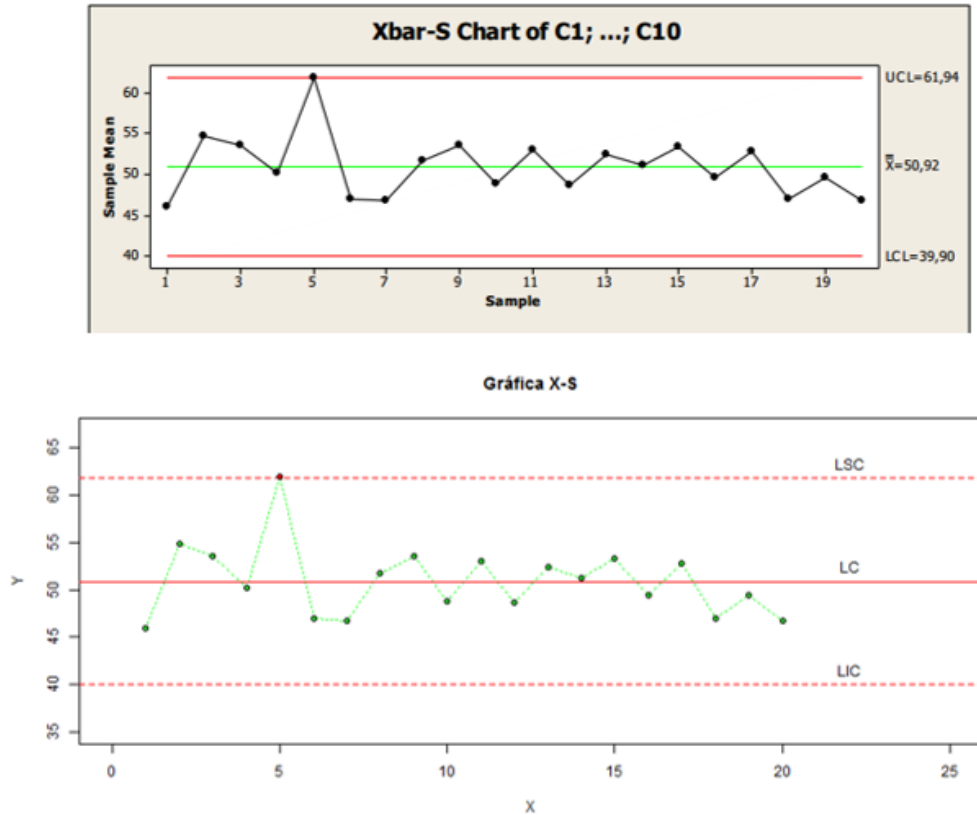


Figura 4.12 Comparativa de gráficos  $\bar{X} - S$

En la figura 4.12 se aprecia que los gráficos generados por la herramienta son calculados correctamente. En la parte superior de la figura 4.12 se presenta el gráfico validado por el programa Minitab y en la parte inferior el gráfico generado por la herramienta propuesta en esta tesis. No es posible comparar el análisis dado por el reconocedor de patrones ya que Minitab no cuenta con esta característica.

## Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

5.1. A pesar de las contribuciones al respecto del desarrollo de herramientas para el Control Estadístico de Procesos a través de diversos trabajos, la propuesta abordada en este tema de tesis cubre aspectos que aún no se reportan por otros trabajos. En general se confirma la necesidad del desarrollo de la herramienta informática, para tener una opción libre de costo para la generación de gráficos de control. La identificación de patrones dentro de la herramienta es un aspecto importante que provee al usuario de una perspectiva de lo encontrado dentro del gráfico, dejando la interpretación final a este mismo. Es importante mencionar que aunque la herramienta se estableció para ambiente Web, actualmente la aplicación también está disponible para la visualización en dispositivos móviles a través de un navegador, esto en base a las cualidades que ofrece Shiny y las tecnologías en las que se apoya.

Los casos de estudio descritos en el anterior capítulo muestran la utilidad de la herramienta como alternativa a realizar los cálculos y generar gráficos de control de manera manual o con otros programas.

El análisis realizado al estado de la práctica revela las ventajas del Control Estadístico de Procesos en los procesos de fabricación y de servicios, las nuevas alternativas en el análisis de defectos de patrones no naturales y elementos existentes que abordan las gráficas de control por variables.



### **Recomendaciones**

5.2. La recomendación o trabajo a futuro para esta tesis radica en adaptar la herramienta a diferentes tipos de redes neuronales, haciendo un estudio del desempeño de los métodos clásicos para el reconocimiento de patrones en gráficos de control tomando en cuenta características y técnicas de procesamiento. Dar opción al usuario de seleccionar las características para el análisis en el reconocimiento de patrones que pueda ser retroalimentado, para lograr una mejor precisión en gráficos que puedan resultar no fáciles de clasificar dentro de los seis patrones básicos abordados en esta tesis.

**Referencias**

- [1] H. D. Freeman, *Statistical Methods for Quality Control*, 1937.
- [2] B. Winer, *Statistical Principles in Experimental Design*, McGraw Hill, 1971.
- [3] W. Shewhart, *Economic Quality Control of Manufactured Product*, Bell Labs Technical, 1930.
- [4] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, Sixth Edition ed., Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [5] J. K. S. S. A. B. G. Harrison M. Wadsworth, *Metodos de control de calidad*, North Carolina: CECSA, 2005.
- [6] W. A. Shewart, «*Statistical Method: From The Viewpoint of Quality Control*,» Lancaster Press Inc., 1939.
- [7] R. d. l. V. S. Humberto Gutiérrez Pulido, *Control Estadístico de la calidad y Seis sigma*, Guanajuato, México: McGraw-Hill Interamericana, 2004.
- [8] H. R. Hart M., «*Introduction to Statistical Process Control Techniques*,» Static Software, Inc., Oregon, 2007.
- [9] W. E. C. Inc., *Statistical Quality Control Handbook*, 1956.
- [10] A. Prat Bartés y X. Martorell Llabrés, *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*, Edicions UPC S.L., 2005.
- [11] J. M. Juran y G. A. Blanton, *Juran's Quality Handbook*, McGraw-Hill, 1998.

- [12] «The R Project for Statistical Computing,» [En línea]. Available: <https://www.r-project.org/>. [Último acceso: 27 Abril 2016].
- [13] H. G. Resnizky, *Learning Shiny*, Packt Publishing Ltd, 2015.
- [14] K. Priddy y P. Keller, *Artificial Neural Networks: An Introduction*, SPEI Press, 2005.
- [15] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*, Prentice Hall, 2009.
- [16] A. Mitra, *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, Wiley, 2016.
- [17] A. Ebrahimzadeh y V. Ranaee, «A hybrid intelligent technique for recognition of control chart patterns,» *2009 First International Conference on Networked Digital Technologies*, pp. 32-36, 2009.
- [18] J.-H. Yang y M.-S. Yang, «A control chart pattern recognition system using a statistical correlation coefficient method,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, nº 2, pp. 205-221, 2005.
- [19] C. Cheng, «A neural network approach for the analysis of control chart patterns,» *International Journal of Production Research*, vol. 35, pp. 667-697, 1997.
- [20] G. Ruey-Shy y H. Yi-Chih, «A neural network based model for abnormal pattern recognition of control charts,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36, pp. 97-108, 1999.
- [21] Y. Jianbo, X. Lifeng y W. Bin, «A Neural Network Ensemble Approach for the Recognition of SPC Chart Patterns,» *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, pp. 575-579, 2007.
- [22] C. Zhiqiang y M. YiZhong, «A Research about Pattern Recognition of Control Chart Using Probability Neural Network,» *2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, pp. 140-145, 2008.

- [23] M. Perry, J. Spoerre y T. Velasco, «Control chart pattern recognition using back propagation artificial neural networks,» *International Journal of Production Research*, vol. 39, nº 15, pp. 3399-3418, 2001.
- [24] Y. Al-Assaf, «Recognition of control chart patterns using multi-resolution wavelets analysis and neural networks,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 47, pp. 17-29, 2004.
- [25] B. K. Bhattacharyya y S. Chakraborty, «Recognition of quality control chart patterns based on back propagation neural network,» *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 1124-1128, 2009.
- [26] P. Duc y S. Seref, «Training multilayered perceptrons for pattern recognition: a comparative study of four training algorithms,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 41, pp. 419-430, 2000.
- [27] J. Addeha, A. Ebrahimzadehb, M. Azarbadb y V. Ranaeeb, «Statistical process control using optimized neural networks: A case study,» *ISA Transactions*, vol. 53, pp. 1489-1499, 2014.
- [28] G. Ruey-Shiang, «A hybrid learning-based model for on-line detection and analysis of control chart patterns,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 49, pp. 35-62, 2005.
- [29] J. Addeh, A. Bayat y A. G. Gharekhani, «Control Chart Patterns Recognition Using Optimized Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Wavelet Analysis,» *Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, 2003.
- [30] W. Chih-Hsuan, G. Ruey-Shan, C. Ming-Huang y W. Jehn-Yih, «Decision tree based control chart pattern recognition,» *International Journal of Production Research*, vol. 46, 2007.

- [31] P. Padilla Valencia, A. D. C. Carrasco Martínez, B. V. Méndez Hernández y E. J. Ruíz Olmos, «Diseño de una interfaz gráfica para el control estadístico de procesos,» de *Congreso Internacional de AcademiaJournals.com*, Chiapas, 2010.
- [32] G. Skulj, R. Vrabic, P. Butala y A. Sluga, «Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study,» *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 401-406, 2013.
- [33] I. Madanhire y C. Mbohwa, «Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country,» *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 580-583, 2016.
- [34] El-Midany, El-Baz y Abd-Elwahed, «A proposed framework for control chart pattern recognition in multivariate process using artificial neural networks,» *Expert Systems with Applications*, vol. 37, nº 2, pp. 1035-1042, 2010.
- [35] G. Pavol, «Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control,» *Procedia Economics and Finance*, vol. 34, pp. 565-572, 2015.
- [36] A. Ebrahimzadeh y V. Ranaee, «Control chart pattern recognition using an optimized neural network and efficient features,» *ISA Transactions*, vol. 49, nº 3, pp. 387-393, 2010.
- [37] H. Yin, G. Zhang, H. Zhu, Y. Deng y F. He, «An integrated model of statistical process control and maintenance based on the delayed monitoring,» *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 133, pp. 323-333, 2015.
- [38] S. K. Gauri y S. Chakraborty, «Recognition of control chart patterns using improved selection of features,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 56, nº 4, pp. 1577-1588, 2009.
- [39] A. I. Pierdant Rodríguez y J. Rodríguez Franco, «Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R,» *Política y Cultura*, pp. 151-169, 2009.

