

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



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

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA  
CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD”**

**TEMA:**

**Análisis de la fabricación de varillas de acero aplicando  
control estadístico y gestión por procesos**

**AUTOR:**

**KAREM NICKOLL VÉLEZ JIMÉNEZ**

**Guayaquil - Ecuador**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme fortaleza para cumplir esta meta.

A mis padres y abuelos por la confianza puesta en mí, y el apoyo que siempre me brindaron.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme fortaleza para cumplir esta meta y a mi Papi Lucho por ser siempre mi pilar e incentivar mis sueños.

A mis padres, Mami Chabela, familia y amigos por la confianza puesta en mí, y el apoyo que siempre me brindaron.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación, me corresponde; y el patrimonio intelectual al mismo a la "Escuela Politécnica del Litoral"



---

**Kareem Vélez Jiménez**

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL  
María Nela Pastuizaca Fernández.  
Ph.D.



---

DIRECTORA DEL PROYECTO  
Wendy Plata Alarcón, MPC



---

VOCAL DEL TRIBUNAL  
Sandra García Bustos, Ph.D



---

VOCAL DEL TRIBUNAL  
Omar Ruiz Barzola, Ph.D.

# CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	1
1. ESTADO DEL ARTE, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Alcance .....	3
1.5. Objetivos del Proyecto .....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos .....	4
1.6. Metodología .....	4
1.7. Variables a analizar.....	6
1.8. Software utilizado.....	7
1.8.1. Software Estadístico Minitab .....	7
1.8.2. Bizagi Modeler.....	7
1.8.3. R project.....	8
1.9. Estado del Arte .....	9
CAPÍTULO II .....	12
2. Marco Teórico .....	12
2.1. Mapa de procesos .....	12
2.2. Flujo de procesos.....	14
2.3. FODA de la empresa .....	16
2.4. Análisis valor agregado.....	17
2.5. Diagrama causa y efecto .....	28
2.6. Metodología 5w 1h.....	29
2.7. Indicadores del proceso .....	29
2.8. Bases estadísticas .....	33
CAPÍTULO III .....	56
3. Análisis de situación actual del proceso .....	56
3.1. Mapa de procesos .....	56
3.2. Antecedentes del objeto de estudio.....	56

3.3. Proceso de producción. ....	57
3.3.1. Proceso de producción de varillas.....	59
3.4. FODA de la empresa. ....	59
3.5. Diagrama de causa y efecto .....	60
3.6. Análisis Descriptivo de las variables .....	62
3.7. Análisis descriptivo de las variables sin valores atípicos .....	69
3.8. Análisis con cartas de control .....	76
CAPÍTULO IV .....	106
4. Mejora del proceso de laminación en caliente. ....	106
4.1. Descripción del proceso de laminación en caliente .....	106
4.1.1. Diagrama de flujo del proceso actual de laminación en caliente	108
4.1.2. Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente .....	109
.....	109
4.1.3. Diagrama de flujo del proceso mejorado de laminación en caliente	111
4.1.4. Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente .....	112
.....	112
4.2. Ficha del proceso de laminación en caliente .....	113
4.3. Aplicación de la técnica 5w y 1h para el análisis de las causas.....	115
4.4. Definir indicadores .....	116
CAPÍTULO V .....	118
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	118
5.1. Conclusiones .....	118
5.2. Recomendaciones .....	119
6. Bibliografía.....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Metodología .....	5
Ilustración 2: Ejemplo de Mapa de proceso .....	13
Ilustración 3: Formato de FODA.....	17
Ilustración 4: Ejemplo de Diagrama Causa y Efecto .....	28
Ilustración 5: Mapa de procesos .....	56
Ilustración 6: FODA de la empresa .....	60
Ilustración 7: Diagrama de Ishikawa de la empresa.....	61
Ilustración 8: Informe resumen de la variable Masa con valores atípicos .....	63
Ilustración 9: Gráfica de probabilidad de Masa con valores atípicos.....	63
Ilustración 10: Informe resumen de la variable Fluencia con valores atípicos .	65
Ilustración 11: Gráfica de probabilidad de Fluencia con valores atípicos.....	66
Ilustración 12: Informe resumen de la variable Resistencia con valores atípicos .....	67
Ilustración 13: Gráfica de probabilidad de Resistencia con valores atípicos....	68
Ilustración 14: Informe resumen de la variable Porcentaje masa sin valores atípicos.....	70
Ilustración 15: Gráfica de probabilidad de Probabilidad_masa sin valores atípicos.....	71
Ilustración 16: Informe resumen de la variable Fluencia sin valores atípicos...	72
Ilustración 17: Gráfica de probabilidad de la variable Fluencia sin valores atípicos.....	73
Ilustración 18: Informe resumen de la variable Resistencia sin valores atípicos .....	74
Ilustración 19: Gráfica de probabilidad de la variable Resistencia sin valores atípicos.....	75
Ilustración 20: Carta de control Masa.....	77
Ilustración 21: Carta de control Masa carta de control R .....	78
Ilustración 22: Carta de control Masa 1 .....	79
Ilustración 23: Carta de control Masa carta de control R 1 .....	80
Ilustración 24: Carta de control Masa 2.....	81
Ilustración 25: Carta de control Masa carta de control R 2 .....	81
Ilustración 26: Carta de control Fluencia.....	84
Ilustración 27: Carta de control Fluencia R .....	85
Ilustración 28: Carta de control Fluencia 1 .....	86
Ilustración 29: Carta de control Fluencia R 1 .....	87
Ilustración 30: Carta de control Fluencia 2.....	88
Ilustración 31: Carta de control Fluencia R 2 .....	89
Ilustración 32: Carta de control Fluencia 3.....	90
Ilustración 33: Carta de control Fluencia R 3 .....	91
Ilustración 34: Carta de control Fluencia 4.....	92
Ilustración 35: Carta de control Fluencia R 4 .....	93
Ilustración 36: Carta de control Resistencia.....	96
Ilustración 37: Carta de control Resistencia R .....	97
Ilustración 38: Carta de control Resistencia 1 .....	98
Ilustración 39: Carta de control Resistencia R 1 .....	99
Ilustración 40: Carta de control Resistencia 2.....	100

Ilustración 41: Carta de control Resistencia R 2 .....	101
Ilustración 42: Carta de control Resistencia 3.....	102
Ilustración 43: Carta de control Resistencia R 3 .....	103
Ilustración 44: Diagrama actual del proceso de laminación en caliente .....	108
Ilustración 45: Análisis valor agregado proceso actual .....	110
Ilustración 46: Diagrama de flujo del proceso mejorado de laminación en caliente.....	111
Ilustración 47: Análisis valor agregado proceso actual .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Simbología Diagrama de Flujo .....	16
Tabla 2: Diagrama de análisis de valor agregado .....	26
Tabla 3: Formato de análisis valor agregado .....	27
Tabla 4: Formato herramienta 5W y 1 H.....	29
Tabla 5: Límites de las variables .....	76
Tabla 6: Análisis del valor agregado del proceso actual de laminación en caliente.....	109
Tabla 7: Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente.....	112
Tabla 8: 5W Y 1 H Empresa.....	115

# INTRODUCCIÓN

El NTE INEN 2167 varillas constituye una norma para el cumplimiento de los estándares que deben cumplir los productos específicamente las varillas cuyo proceso es denominado laminación en caliente, esta normativa está basada en el enfoque de producción de varillas para especificar la forma y los índices que deben cumplir cada variable que interviene en su producción, con lo cual otorga a la compañía una certificación en su cumplimiento, proporcionando a la empresa una ventaja competitiva necesaria para lograr un importante posicionamiento en el mercado. En los últimos años, las empresas siderúrgicas han tratado de implementar métodos, herramientas y otros procedimientos para la mejora de su producción con el fin de alcanzar estándares establecidos en la norma indicada.

El presente trabajo tiene como finalidad el análisis del proceso de fabricación de varillas de acero para una empresa siderúrgica de la ciudad de Guayaquil, mediante la utilización de gráficos de control estadístico y gestión por procesos; éste consta de cinco capítulos denominados: “Estado del Arte, Objetivos y Metodología”, “Marco Teórico”, “Análisis de situación actual del proceso”, “Análisis estadísticos de las variables que intervienen en el proceso de laminación en caliente y mejora del proceso”, y, “Conclusiones y Recomendaciones”.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema, se establecen los objetivos generales y específicos del trabajo; y, se finaliza el capítulo con la metodología y una breve descripción del software utilizado.

En el segundo capítulo, se continúa con el marco teórico, tanto como las herramientas de calidad a utilizar, bases estadísticas de los gráficos de control, y estado del arte.

En el tercer capítulo, se muestra mapa de procesos, además de realizar una breve descripción del antecedente del objeto de estudio y del proceso, se

hace uso del FODA, para tener mayor conocimiento de la empresa, se utiliza diagramas de Ishikawa, para el análisis de las causas que no permiten el correcto funcionamiento del proceso, además de análisis descriptivo de las variables, que son relativos al cumplimiento de los requisitos de la norma, además de realizar pruebas de normalidad, ya que es una condición para la realización de los gráficos de control, y análisis estadístico de los puntos fuera de control encontrados en los gráficos de control estadísticos, encontrar los nuevos límites de control de las cartas, además de la capacidad del proceso .

En el cuarto capítulo del trabajo, denominado “Mejora del proceso de laminación en caliente”, se realiza el análisis valor agregado para realizar la mejora del proceso y aplicando la técnica 5w y 1h, se añade la ficha de caracterización del proceso y se incorpora la definición de indicadores, los cuales son considerados importantes para monitorear el proceso.

Se finaliza con las conclusiones a las que se llegaron durante el desarrollo del trabajo de graduación, así como también con el planteamiento de algunas recomendaciones que serán de utilidad para la empresa en estudio.

# **CAPÍTULO I**

## **1. ESTADO DEL ARTE, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

### **1.1. Antecedentes**

La historia de la siderurgia tiene su apertura en Anatolia, años atrás, en donde fueron hallados elementos de hierro fundido, otros países como en África e India se han desenterrado artefactos en hierro. La siderurgia surgió por contar con un material tan fuerte como el bronce, lo cual fue de forma natural y sin pasar por las fases previas de la metalurgia euroasiática, hasta la llegada a América con la conquista española. (Luis, 2004)

La actividad siderúrgica en el Ecuador tuvo sus inicios en 1964, los implementos utilizados eran los trenes de laminación de procedencia italiana, los técnicos y profesionales en siderurgia que había en estas décadas eran extranjeros. En aquel entonces se trabajaba sin normativa nacional, lo que se utilizaba eran normas de referencia externas, especialmente las ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales). La demanda que se tuvo del producto fue el motivo por el cual los inversionistas crearon nuevas empresas para la fabricación de varillas, lo que provocó que los fabricantes de las varillas y sectores interesados se pongan de acuerdo para elaborar una norma nacional. (ANDEC, 2014)

La empresa siderúrgica objeto de estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil desde 1996, en su búsqueda de la satisfacción de sus clientes, realizó la diversificación de productos que son utilizados en obras de ingeniería, posicionándose efectivamente en su mercado objetivo. Al igual que todas las industrias debe tener cuidado y examinar los escenarios cambiantes, es decir, avance en la tecnología, la utilización de materias primas innovadoras y la fuerza de trabajo, estos elementos tienden a evolucionar con rapidez y pierden vigencia con el pasar de los años. Actualmente la empresa se encuentra comprometida en los procesos de sus operaciones, tales como proyectos externos relacionados con la mejora de sus procesos de producción, métodos de ensayos y competencia técnica, para obtener la acreditación de sus laboratorios, bajo normativas establecidas.

## **1.2. Planteamiento del problema**

La empresa en estudio fue la pionera en producir y distribuir varillas y otros productos para el sector de la construcción en el Ecuador. Debido al incremento de competidores, la compañía se ha visto en la necesidad de mejorar la eficiencia y efectividad de sus procesos internos y poder diferenciarse, por tanto, se encuentra en continuo desarrollo de estrategias, ya que su visión es convertir sus productos en los números uno en el mercado.

La norma INEN 2017 establece los requisitos que deben cumplir las compañías dedicadas a la elaboración de las varillas de 12mm que son utilizadas para la construcción, el proceso consiste en realizar un muestreo de un lote (conjunto de varillas del mismo grado, procedente de una misma campaña de producción en serie) y verificar que cumplan con las precisiones físicas y dimensionales de esta norma, si

los resultados no son los esperados, deben ser rechazados. (NTE INEN 2167 VARILLAS).

El presente proyecto está orientado a analizar la problemática de la empresa siderúrgica correspondiente a la falta de control en la medición de las características de los productos que incumplen con los términos de la normativa mencionada NTE INEN 2167, para la mejora en el proceso de producción y evitar la venta del producto defectuoso a menor costo y la reducción de las ganancias para la empresa.

### **1.3. Justificación**

La importancia de este trabajo se encuentra fundamentada en la necesidad de la implementación de control estadístico y gestión por procesos, que la empresa utilizará como un instrumento de medición y análisis. Este estudio permitirá conocer estadísticamente el comportamiento de la producción y el cumplimiento de los requerimientos establecidos para este ítem. Por lo cual es necesaria la recolección de datos, entendibles y precisos, los cuales se representarán mediante gráficos y se espera lograr correcciones al proceso productivo, formalidad de los registros y una adecuada toma de decisiones.

### **1.4. Alcance**

En el presente proyecto se realizará estudios de las varillas defectuosas registradas en los informes diarios en la Báscula de pesaje de producto terminado perteneciente al área de Control de

Calidad de una empresa siderúrgica ubicada en Guayaquil, durante los primeros tres meses del año dos mil diecisiete.

## **1.5. Objetivos del Proyecto**

### **1.5.1. Objetivo General**

Analizar la fabricación de varillas de acero en una empresa siderúrgica, aplicando control estadístico de calidad y gestión por procesos.

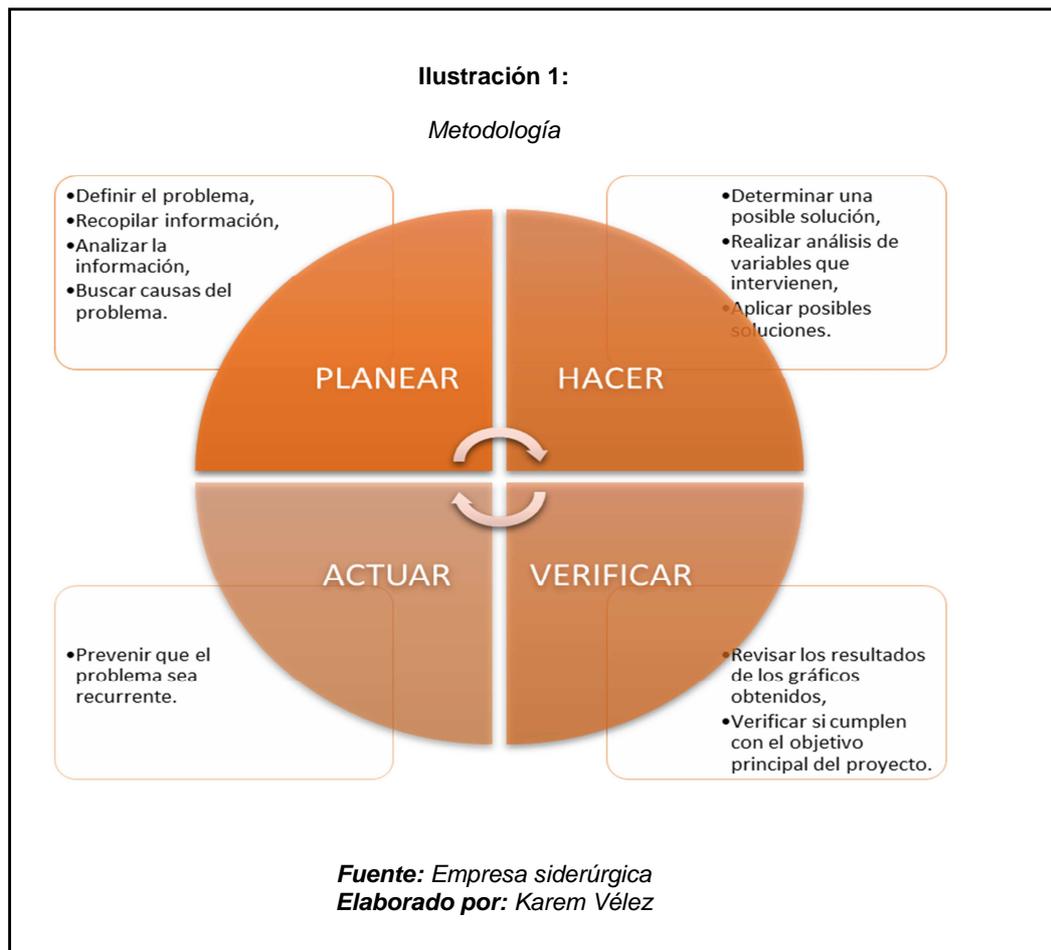
### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la problemática del proceso de fabricación de varillas, mediante herramientas de calidad para la identificación de las causas del problema.
- Aplicar técnicas estadísticas para analizar los datos históricos de control de calidad y ensayos de tracción al proceso de fabricación de varillas de acero para determinar con qué frecuencia aparecen problemas en el proceso.
- Presentar gráficas que muestren resultados obtenidos, en la medición de sus variables, las cuales son comparadas con el cumplimiento de las normas y leyes establecidas.
- Proponer mejoras, para disminuir tiempos y actividades repetitivas que afectan a la eficiencia la fabricación de varillas, mediante la gestión por procesos.

## **1.6. Metodología**

En este punto se especifica el procedimiento a seguir para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, como base metodológica se

usará el ciclo de PHVA, conocido como el ciclo Deming, esta metodología generalmente utilizada para la detección de problemas y proponer soluciones viables, tal como se muestra en la **Ilustración 1** que describe en 10 pasos el procedimiento a realizar en el proyecto.



Establecida la metodología, se realizará el análisis para resolver los problemas en el proceso de laminación en caliente de las varillas de 12 mm, a través de los siguientes pasos:

### **Planear**

- Levantamiento de información referente al proceso de laminación en caliente.
- Análisis causa-efecto, identificación de problemas.

- Identificación de las causas más críticas mediante el análisis de valor agregado.

### **Hacer**

- Utilizar los gráficos de control para las variables que se analizan en el proyecto.
- Mejora en el flujo del proceso de laminación en caliente.

### **Verificar**

- Resultados de la gráfica de control, cumplen con la mejora establecida en objetivos.

### **Actuar**

- Propuestas de mejora en el proceso y que se demuestre la eficiencia de su evaluación con las cartas de control.

## **1.7. Variables a analizar**

El análisis se realiza a través del informe que se entrega después de cada turno, que constan de los tickets de peso de producto terminado, control de producción por el supervisor, y fichas utilizadas para la verificación del cumplimiento de las especificaciones de la norma de los cuales se toman en cuenta las siguientes variables:

**Fluencia:** Después de alcanzar el “Limite de fluencia” del material se deforma bruscamente sin un aumento considerable de la carga aplicada, este cambio brusco se debe a las impurezas presentes en el metal.

**Resistencia:** Durante el proceso el material sigue la Ley de Hooke (establece que el alargamiento de un muelle es directamente proporcional al módulo de la fuerza que se le aplique, siempre y cuando no se deforme permanentemente dicho muelle), comportándose lineal al esfuerzo aplicado, si se deja de aplicar fuerza en este punto el material volverá a su estado original.

**Porcentaje desviación de masa:** consiste en pesar varias muestras en una balanza verificada. El resultado del ensayo es el valor del peso de la varilla dividido para la longitud. Estas variables servirán para realizar análisis de estadísticas descriptivas, diagramas de barras e Ishikawa.

## **1.8. Software utilizado**

### **1.8.1. Software Estadístico Minitab**

El Software estadístico Minitab<sup>1</sup> provee desde la preparación de sus datos para el análisis hasta la entrega de resultados sólidos, Minitab proporciona las herramientas que usted necesita para transformar sus datos en soluciones.

### **1.8.2. Bizagi Modeler**

Bizagi Modeler es una aplicación que le permite modelar y documentar procesos de negocio basado 100% en el estándar de aceptación mundial conocido como Business Process Model and Notation (BPMN).

---

<sup>1</sup> **Minitab 18**, tomados desde <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/look-inside/>, en marzo 25 de 2018.

Usted puede publicar documentación de alta calidad en Word, PDF, SharePoint o Wiki. Los procesos pueden ser fácilmente importados y exportados usando Visio, XML, entre otras herramientas. El IntelliSense (completado inteligente de código) junto con su interfaz única, le permiten documentar y mapear más rápido y más fácil, sin el retraso de rutinas de validaciones.

Cada archivo se denomina modelo y puede contener uno o más diagramas.

Un modelo puede referirse a una organización completa, un departamento o un proceso específico dependiendo de sus necesidades. Los diagramas son posicionados como hojas individuales (pestañas) dentro de su modelo. Usted puede navegar entre los diagramas de su modelo seleccionando la hoja asociada que se encuentra en la parte inferior del modelo.<sup>2</sup>

### **1.8.3. R project**

R es un lenguaje y entorno para computación y gráficos estadísticos. Es un proyecto de GNU que es similar al lenguaje y al entorno S, que fue desarrollado en Bell Laboratories (anteriormente AT & T, ahora Lucent Technologies) por John Chambers y sus colegas. R se puede considerar como una implementación diferente de S. Hay algunas diferencias importantes, pero gran parte del código escrito para S corre inalterado bajo R.

R proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelado lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupamiento) y gráficos, y es altamente extensible. El lenguaje S suele ser el vehículo de elección

---

<sup>2</sup> **BIZAGI MODELER**, tomados desde <http://help.bizagi.com/process-modeler/es/>, en marzo 25 de 2018.

para la investigación en metodología estadística, y R proporciona una ruta de código abierto para la participación en esa actividad.

Uno de los puntos fuertes de R es la facilidad con la que se pueden producir parcelas de calidad de publicación bien diseñadas, que incluyen símbolos matemáticos y fórmulas cuando es necesario. Se ha tenido mucho cuidado con los valores predeterminados para las opciones menores de diseño en los gráficos, pero el usuario conserva el control total.<sup>3</sup>

## **1.9. Estado del Arte**

Los gráficos de control han sido de gran ayuda para la detección de elementos que no cumplen con especificaciones requeridas en el proceso tal como indica en su artículo (MacGregor & Kourti, 1995) su inventor y desarrollador el Doctor Walter Shewart en 1924, lo realizó en las instalaciones de Bell Telephone Company, tal como especifican (BEST, NEUHASER, & SLAVIN, 2003) en su publicación, desde aquel entonces se han desarrollado nuevas investigaciones, los cuales podemos destacar (ALY, SALEH, MAHMOUND, & WOODALL, 2015) que intentan realizar comparaciones en gráficos ya establecidos con la desviación estándar de la longitud media de la carrera (SDARL) en el estudio del desempeño de los gráficos de control con estimados en control de parámetros.

En lo que corresponde a los procesos de fabricación, específicamente los tubos de fibra de carbono, los cuales pueden ser controlados por el método univariado, pero con inconvenientes tales como falsas

---

<sup>3</sup> R- project, tomados desde <https://www.r-project.org/about.html>, en marzo 25 de 2018.

alarmas y tiempo. Para este tipo de problemas (RIAZ, ABBAS, & DOES, 2011) indican una nueva generación de gráficos multivariantes basándose en las sumas acumuladas de las variables multivariadas exponencialmente ponderadas, otros como: (SEIF & ET , 2017) utilizan muestreos estadísticos para un gráfico de T2 (T-Cuadrado) con enfoque en cadenas de Markov, se basa en el esquema de muestreo alternativos para el control T2 (T-Cuadrado) de Hotelling gráfico con parámetros variables (VP T 2) que permite que el inter-muestreo, tamaño de la muestra  $n$ , y control de límite de  $k$ , que varía entre valores mínimo y máximos, mientras se mantiene la línea de advertencia fija en el tiempo. Existen algunos autores tales como (Fuch & Benjamini, 1994) quienes determinaron un diseño de carta para que sea utilizada en el control las variables de manera univariante y multivariante, al igual que la medición de dispersión, componentes principales, y sumas acumuladas.

La tabla de control de suma acumulativa multivariada (MCUSUM) es un cuadro de control de calidad multivariable que tiene la ventaja de detectar pequeños cambios significativos en el proceso. Como una contraparte multivariante del cuadro  $\bar{x}$ , el gráfico  $\chi^2$  fue primero sugerido y utilizado por Hotelling en la prueba de la bomba. Es bien sabido que gráfico  $\chi^2$   $\chi$  es relativamente insensible a los pequeños cambios medios. Esta desventaja plantea el problema de cómo obtener extensiones multivariantes de reglas de ejecución, los gráficos CUSUM, (Woodall & Ncube, 1985) sugirió un gráfico CUSUM múltiple utilizando una serie de Gráficos de control CUSUM sobre las características originales o sobre el principal eje de los componentes dependiendo del tipo de cambio en el medio que es considerado importante para detectar (Pignatiello & Runger, 1990) mostraron que el gráfico CUSUM múltiple de (Woodall & Ncube, 1985) no tiene buenas propiedades de longitud media de ejecución (ARL) cuando el proceso significa cambios a lo largo de varias características al mismo

tiempo. Para disminuir la sensibilidad del gráfico de direcciones CUSUM múltiple univariante, recomendaron utilizando los gráficos univariados CUSUM dirigidos a varios elegidos de manera uniforme direcciones. Obviamente, cuantas más direcciones, menos sensibilidad. Pero, al mismo tiempo, descubrieron que el gráfico de control resultante es difícil para administrar cuando hay tres o más características. (Hawkins, 1993) indicó que, en algunas circunstancias, los controles separados las variables ajustadas por regresión según los gráficos CUSUM pueden mejorar la velocidad de detección y hacer que la señal del gráfico sea más fácil de interpretar.

## **CAPÍTULO II**

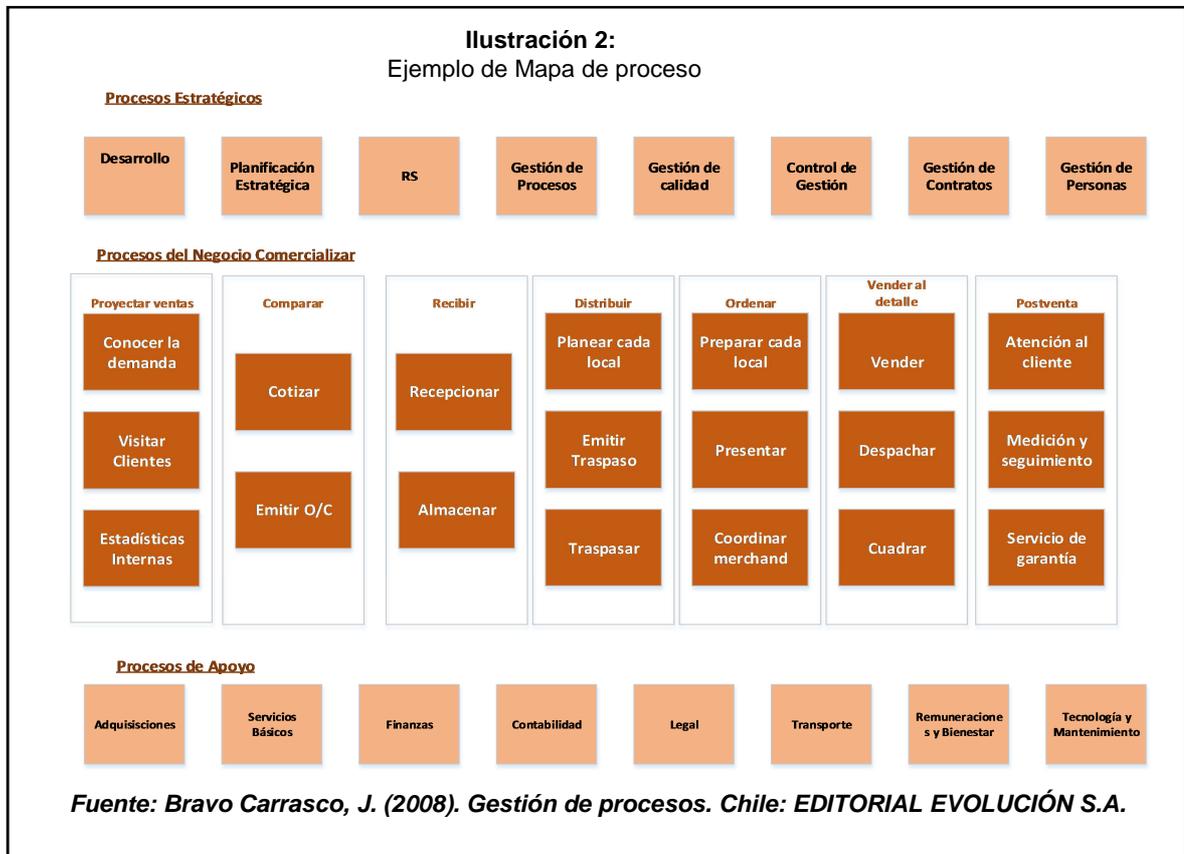
### **2. Marco Teórico**

#### **2.1. Mapa de procesos**

El mapa de procesos es una visión de conjunto, holística o “de helicóptero” de los procesos (Bravo Carrasco, 2008). Se incluyen las relaciones entre todos los procesos identificados en un cierto ámbito. Une los procesos segmentados por cadena, jerarquía o versiones. Vital contar con un glosario de términos en la organización, especialmente de los verbos empleados para describir procesos y actividades, así todos entienden lo mismo. Se usan dos tipos de mapas, global (de toda la organización) y de ámbito, este última aporta mayor detalle.

Elaborar el mapa de procesos global Lo primero es contar con la visión de conjunto, global, porque muestra todos los procesos de la empresa. Este mapa debe estar siempre actualizado y pegado en las paredes de cada área. Al principio puede ser necesario un apoyo de consultoría, por ejemplo, un mapa de procesos en una empresa productiva con un negocio más o menos focalizado significó 1 mes de dos profesionales. En un hospital de gran tamaño el tiempo para elaborar el mapa fueron 3 meses dos profesionales de tiempo completo (no hubo holguras y el “tiempo completo” fue real, por si tiene la tentación de asignarle esta labor a alguien que ya está bastante ocupado). En ambos casos trabajando muy ajustado

en tiempo. Ejemplo de un mapa de procesos en la empresa LINHOGAR, dedicada a la comercialización de productos de línea blanca y electrónica.



En la **Ilustración 2** Se identifican tres tipos de procesos:

- **Procesos estratégicos.** Van arriba y están orientados al diseño de toda la organización y a cumplir con las actividades de planeación, investigación y de gestión en general. Definen los grandes caminos para cumplir cada vez mejor con la misión de la organización.
- **Procesos del negocio.** Van al centro y derivan directamente de la misión. Se les puede llamar también procesos de misión.

- **Procesos de apoyo.** Van abajo y dan soporte a toda la organización es los aspectos operativos que no son directamente del negocio, por lo tanto. Aunque no interactúan con los clientes en el día a día, igualmente deben contactarse con ellos para conocer de primera mano sus necesidades.

## **2.2. Flujo de procesos**

### **Definición**

Los flujos de procesos son representaciones gráficas que brindan una imagen clara y concisa de las actividades realizadas dentro de un proceso, es utilizado para el análisis funcional y determinar si es necesaria una acción de mejora, debido a que muestra todas las actividades es más fácil situar el control o área de mejora. (Delvicier & Vélez , 2015)

### **Como se elaboran**

Para su realización se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir el principio y el fin del proceso
2. Definir las actividades que se realizan en el proceso
3. Ubicar esas actividades de manera secuencial
4. Colocar la simbología adecuada acorde a las necesidades de cada actividad
5. Revisar el diagrama el cual debe ser correcto y eficiente.

### **Tipos de flujos**

#### **Vertical**

Describe las actividades de un proceso, cuya secuencia es de arriba hacia abajo, es considerada como un gráfico de análisis de proceso.

### **Horizontal**

Está orientado a determinar cuál es la persona involucrada en las actividades del proceso.

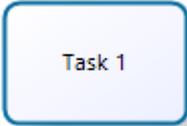
### **De Bloques**

Su finalidad es la integración de los procesos, es decir una secuencia de tareas realizadas de manera macro.

### **Simbología**

La **tabla 1** muestra los símbolos más utilizados para la diagramación de los procesos.

**Tabla 1:**  
Simbología Diagrama de Flujo

NOTACIÓN	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	Evento de Inicio Simple	Indica dónde se inicia un proceso. No tiene algún comportamiento particular.
	Evento Intermedio Simple	Indica que algo sucede en algún lugar entre el inicio y el final de un proceso. Esto afectará el flujo del proceso, pero no iniciará (directamente) o finalizará el mismo.
	Finalización simple	Indica que el flujo finaliza.
	Compuerta Exclusiva	De divergencia: Se utiliza para crear caminos alternativos dentro del proceso, pero solo uno se selecciona.  De convergencia: Se utiliza para unir caminos alternativos.
	Tarea	Es una actividad atómica dentro de un flujo de proceso. Se utiliza cuando el trabajo en proceso no puede ser desglosado a un nivel más bajo de detalle.
	Subproceso	Es una actividad cuyos detalles internos han sido modelados utilizando actividades, compuertas, eventos y flujos de secuencia.

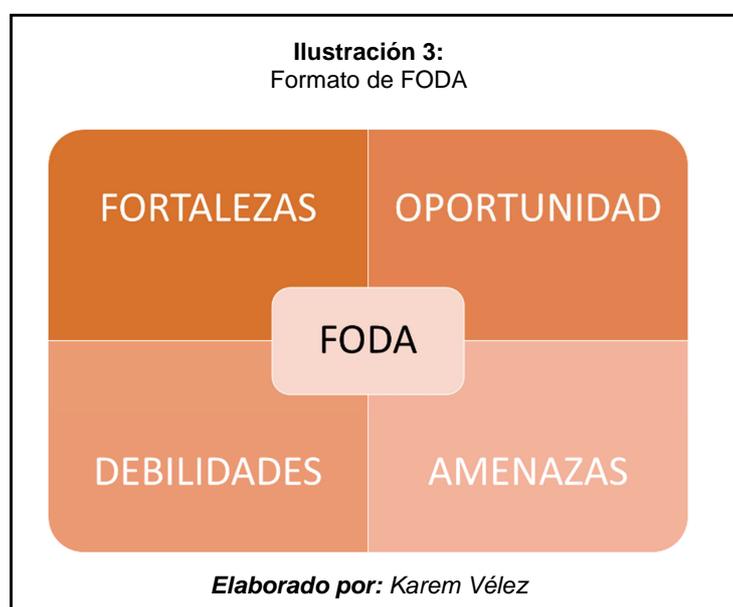
*Fuente: BIZAGI MODELER, 2018*

### 2.3. FODA de la empresa

El FODA (en inglés SWOT), es la sigla usada para referirse a una herramienta analítica que le permite examinar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la compañía, (Graw-Hill, 1985).

Este tipo de estudio examina la interacción entre las características de un negocio y el entorno en el cual éste contiene.

El análisis FODA debe orientarse solamente hacia los factores claves que generen el éxito e inconvenientes que afecten directamente a su negocio. En el estudio debe determinar las fortalezas y las debilidades y realizar una comparación objetiva y realista con la competencia y con las oportunidades y amenazas claves del entorno.



## **2.4. Análisis valor agregado**

Según (Bravo Carrasco, 2008) el tema de valor agregado es uno de los más incomprensidos en la gestión de procesos. Erróneamente, se piensa en una sumatoria de costos o en un “agregado”, una especie de regalo sobre el servicio. Tampoco se trata de la rentabilidad que obtiene un

accionista. Son errores sorprendentemente frecuentes que veremos más en detalle.

Dicen (Hax & Majluf, 1993): “El valor generado por un negocio se mide por medio de las entradas totales obtenidas por el pago hecho por los compradores de los productos. Se crea valor agregado cada vez que la contribución de los compradores excede al costo total resultante, una vez que se completan todas las actividades en la cadena del negocio” (se refieren a la cadena de valor de Michael Porter).

Y no se trata de un tema nuevo, desde el punto de vista de las mediciones ya en 1954 (The practice of management) lo analizaba (Drucker, 1999) “El valor aportado es la diferencia entre la entrada bruta recibida por una compañía de la venta de sus productos o servicios y la cantidad pagada por la compra de materia prima y servicios prestados por proveedores de afuera. El valor aportado, en otras palabras, incluye todos los costos de todos los esfuerzos del negocio y toda la recompensa obtenida por esos esfuerzos... El valor aportado no es una panacea. Puede utilizarse para analizar la productividad solamente si la distribución de los costos que en conjunto integran las cifras tienen significado económico”. Luego continúa anticipándose a lo que hoy llamamos costeo basado en la actividad.

Desde un punto de vista de empresa, aporta la profesora (Gil, 2003): “Dentro de la economía de mercado y desde un punto de vista macroeconómico, se puede afirmar que la actividad empresarial es la que genera la riqueza de un país y que esta riqueza se contabiliza en la forma de valor añadido. El valor añadido no es más que «la diferencia entre el valor monetario de la producción empresarial y el valor monetario de los bienes y servicios adquiridos a otras unidades productivas»

### **No es sumar costos**

Todavía hay quienes piensan que es sinónimo de adicionar costos, es decir, sumar todos los costos asociados a un proceso y simplemente traspasárselos al cliente, sin mayor análisis de la eficiencia del proceso. Por este camino sucede que hay empresas que calculan el valor de su producto sumando lo que a ellos les cuesta producirlo, más un margen de ganancia y luego se sorprenden cuando el resultado los deja fuera de mercado, entonces se enemistan con el mundo en lugar de preguntarse por el precio que realmente los clientes estarían dispuestos a pagar.

Una variante es la empresa pública o privada que logra sobrevivir con esa ineficiencia gracias al lobby y el cierre de los mercados, quedando la comunidad a merced de ellos y se fabrica un conflicto futuro porque la resignación y la frustración de los clientes encontrarán alguna forma de expresión. Es una actitud monopólica que poco a poco está desapareciendo del mundo gracias a la mayor apertura, educación y libertad.

Dice (Lorino, Costos, 1996): “Los costos no tienen nada que ver con el valor: este último sólo es establecido por el mercado y, en última instancia, por la apreciación del cliente. A priori, al cliente no le importa el costo del producto que compra, sino que lo hace por su valor y su precio: compra especificaciones o servicio. La diferencia entre valor y costo queda perfectamente en evidencia por la existencia de costos que no crean ningún valor, los costos de derroche: los correspondientes a la creación de especificaciones no pedidas por el cliente, los de retoques, los de

almacenaje. Y a la inversa, a veces es posible aumentar el valor sin ningún gasto, con un servicio más amable al cliente o con una innovación de sentido común que no exige ninguna inversión”.

### **No es un “agregado”**

Otro error es considerar el valor agregado como un “agregado” al producto, es decir, un regalo o un plus por sobre lo que el cliente espera. Está muy bien querer elevar el nivel de satisfacción de los clientes con un obsequio inesperado e intentar deleitarlos, pero eso no es valor agregado. Una variante del mismo error, que no está nada de bien, es intentar reemplazar con un regalo lo que el cliente espera, en tal caso, lo más probable es que el cliente se sienta frustrado, engañado y nuevamente se esté generando presión al interior del volcán.

### **No es la rentabilidad para los accionistas**

Tampoco el valor agregado es la riqueza para los accionistas, aunque, habiendo transparencia y comportamiento ético, en el tiempo es coincidente con la creación de valor para los clientes. Explica (Amat, 1999): “La empresa puede convertirse en un generador de valor o riqueza para sus accionistas. De este objetivo se desprende la voluntad de obtener la máxima rentabilidad para los accionistas incluye diversos subobjetivos, tales como: (a) Obtener la máxima utilidad neta con un capital mínimo, aportado por los accionistas. (b) Lograr el mínimo costo promedio de capital, entendiendo que éste es consecuencia del costo financiero del endeudamiento y del costo del patrimonio”.

## **¿Qué es valor agregado?**

Valor agregado es el beneficio que se obtiene del proceso de producción e intercambio, comenzando por el trueque algunos millones de años atrás hasta la sofisticación del intercambio financiero en nuestros días. Una transacción se realiza porque hay dos o más partes que consideran que ganan valor. Puede ser el trueque de una oveja por algunos sacos de papas o la adquisición de un par de zapatos en un precio (en dinero) equivalente a algunas horas de tiempo de nuestro trabajo, (Bravo Carrasco, 2008).

Hay valor agregado cuando el cliente cree que lo hay y mantiene esa creencia en el tiempo, descartando un encandilamiento transitorio. Aquí entramos en el terreno de las percepciones y las necesidades ¿cuánto vale un vaso de agua para alguien perdido en el desierto?, ¿o un caballo en la mitad de la batalla?, reiterando el pedido de aquel rey que decía: “mi trono por un caballo”.

Agregar valor es crear riqueza, funciona así: supóngase que una familia produce 100 sacos de papas en la temporada, dedicados solamente a eso. Sin embargo, para complementar su alimentación requiere ovejas, pero como no es tan eficiente en su crianza, debe renunciar a cuatro sacos de papas por cada oveja que cría. Otra familia hace la operación inversa, saben criar ovejas y no son buenos productores de papas, en consecuencia, haciendo una simplificación, porque sabemos que el

esfuerzo en horas de trabajo e insumos es una señal importante que ayuda a fijar el valor de los bienes. Por otra parte, probablemente incidían (e inciden) ventajas comparativas, tales como disponibilidad de agua, pastos, etc. Deben renunciar a cuatro ovejas para producir un saco de papas. Entonces se produce el intercambio y para ambos resulta conveniente cambiar un saco de papas por una oveja, es decir, el nivel de riqueza de la familia que produce papas subió en tres sacos de papas, los que puede canjear por otros productos que seguirán aumentando su bienestar. Lo mismo para la familia productora de ovejas, ellos ahorran tres ovejas que pueden destinar a lo que ellos deseen, incrementado así su nivel de riqueza.

Esto tiene que ver con la productividad, con la división del trabajo en el sentido de focalización y con técnicas de trabajo. Por eso F. W. Taylor insistía en que los beneficios de los proyectos de cambio llegaran en una tercera parte a la comunidad, principalmente en la forma de disminución de precios (las otras dos partes eran para la empresa y los trabajadores). Otras formas de traspasar riqueza son calidad o innovación.

Entonces, gracias a la producción de bienes y servicios se crea riqueza y con el intercambio se incentiva y acelera esa creación de riqueza. En este contexto, hacemos típicamente dos preguntas, o comparaciones.

La primera comparación que uno realiza es contra la posibilidad de procurarnos nosotros mismos el bien o servicio ¿podemos hacer nosotros mismos el par de zapatos? Sí, pero. Lo más probable es que no nos quede igual de bien y que en lugar de invertir el equivalente a algunas horas de trabajo, tengamos que invertir varios días o semanas, y las diferencias son casi infinitas si pensamos en productos tecnológicos o servicios financieros

internacionales. Por lo tanto, comúnmente resulta más conveniente comprar.

Bien, esa decisión racional de conveniencia es el valor agregado, la diferencia entre lo que nos costaría hacerlo nosotros o comprar.

Así se explica que en la creación de valor son inseparables los temas de producción de bienes y servicios, intercambio y división social del trabajo (o focalización).

También fue positivo para la fábrica de zapatos, por ejemplo, porque su especialización les permitió vender y obtener beneficios que invierten en comprar productos y servicios a otras personas o empresas. La sumatoria de los valores agregados es la creación de riqueza social, por eso es que los países donde existe mayor apertura con transparencia incluida, porque de lo contrario no sería apertura crean riqueza y bienestar para la población con mayor velocidad. Lo que sucede es que dejan fluir el beneficio del intercambio. No es algo que se note en el corto plazo, pero si uno toma períodos de cincuenta o cien años, podrá ver que la riqueza per cápita de un país libre se incrementó cien veces o más, así sucedió en Chile, por ejemplo.

La segunda comparación, rápida y comúnmente en forma subconsciente, es con el medio. Hoy no basta con que nos preguntemos si podemos procurarnos nosotros el bien, porque la sofisticación y complejidad de nuestro mundo nos ofrece múltiples opciones, del mismo producto o de sustitutos. Ahora la siguiente pregunta es del tipo: ¿por qué comprar el par de zapatos aquí?... y entramos en el terreno de la diferenciación de la oferta de ese par de zapatos, ya sea en calidad, precio, servicio,

cumplimiento de normas de seguridad y de protección del ambiente o cualquier otra.

En este contexto de mayor complejidad surge el enlace con procesos, ¿realmente agregamos valor al cliente? ¿Le conviene adquirir nuestro producto? Debemos hacer estos cuestionamientos para cada producto y proceso que lo apoya. ¡OK! El proceso agrega valor. Sin embargo ¿todas las actividades del proceso agregan valor? En otras palabras, buscamos que todas las actividades de un proceso agreguen valor y suponemos que si el cliente las viera, estaría dispuesto a pagar por ellas, como en el caso de adquirir materia prima de mejor calidad o lograr una presentación más acabada. Aunque el producto resulte más caro, tal vez el cliente igual querría pagar porque le da valor.

Es bueno despejar algunos simplismos, hay muchos tipos de valor agregado, aun cuando no sean ostensibles para el cliente. Son valores que, si él supiera que existen, los pagaría, por eso es tan necesario el ejercicio de ponerse en el lugar del cliente, mejor aún, preguntarle directamente.

Al respecto aportan (Kaplan & Cooper, 1999) “Algunas actividades son muy fáciles de clasificar dentro de este esquema. Por ejemplo, fabricar una pieza en una máquina y prestar un servicio al cliente se consideran, generalmente, como actividades con valor agregado. Por el contrario, rectificar una factura incorrecta, trasladar materiales por una fábrica mal diseñada y reparar productos defectuosos se consideran, generalmente, como actividades sin valor agregado, ya que, si el diseño o el proceso de producción original se hubieran hecho bien, no hubiera surgido la

necesidad de estas actividades. De hecho, las actividades sin valor agregado representan actividades por las que, normalmente, los clientes no deberían pagar”. Los autores sugieren además trabajar con técnicas tales como ABC (Activity Based Costing o Costeo Basado en la actividad) y ABM (Activity Based Management o Gestión basada en la actividad) para la operación y gestión de las actividades.

A propósito, la supervisión, ¿da valor agregado?, depende, en ciertos tipos de organizaciones, uno, como cliente, está dispuesto a pagar por la supervisión, en otras organizaciones, más evolucionadas, se percibe que la supervisión es innecesaria.

### **Cada actividad del proceso debe agregar valor**

Cada actividad debe agregar valor para el cliente, aunque evaluadas con criterio porque, ¿consideramos sólo las actividades de la cadena productiva? No, todas las que influyen de una u otra forma, en una aplicación de visión sistémica se incluirían las actividades que “no se ven”, tales como mantener la planta de trabajo limpia y ordenada, o las políticas relacionados con los colaboradores, porque a los clientes más educados les gustaría recibir un producto elaborado con cariño y energía positiva.

¿Y el marketing agrega valor? Es una pregunta recurrente en los cursos. La respuesta es un sí categórico, a condición de que este bien aplicado y sea ético. El marketing es una forma de comunicación y la comunicación agrega valor.

Generar valor tiene relación directa con focalizar el trabajo de las organizaciones y con las innovaciones. Aporta (Lind , 2002): “no se trata de

subir los precios porque sí, ya que el cliente no lo acepta. Hay que incorporar nuevas características que permitan que el cliente reconozca que el producto tiene otro valor y que, consecuentemente, esté dispuesto a pagar ese nuevo precio. La idea es que esas innovaciones en el producto no tengan costos tales que produzcan una disminución de las ganancias y tampoco sean mayores que las ganancias que va a producir ese nuevo valor, porque ello implica que el nuevo valor agregado provocará una pérdida de utilidades”.

Realizado para eliminar las actividades que no son necesarias en el proceso o que no agregan valor al mismo, para que se ejecute de forma eficiente con el menor costo posible y mejorar aquellas actividades restantes que no agregan valor, por esa razón para determinar si la actividad agrega valor o no al proceso utilizamos las siguientes **Tabla 2 y Tabla 3:**

**Tabla 2:**  
Diagrama de análisis de valor agregado

		ACTIVIDAD AGREGA VALOR	
		SI	NO
ACTIVIDAD NECESARIA	NO	TRANSMITIVA	ELIMINAR
	SI	MEJORAR	OPTIMIZAR

*Elaborado por: Karem Vélez*

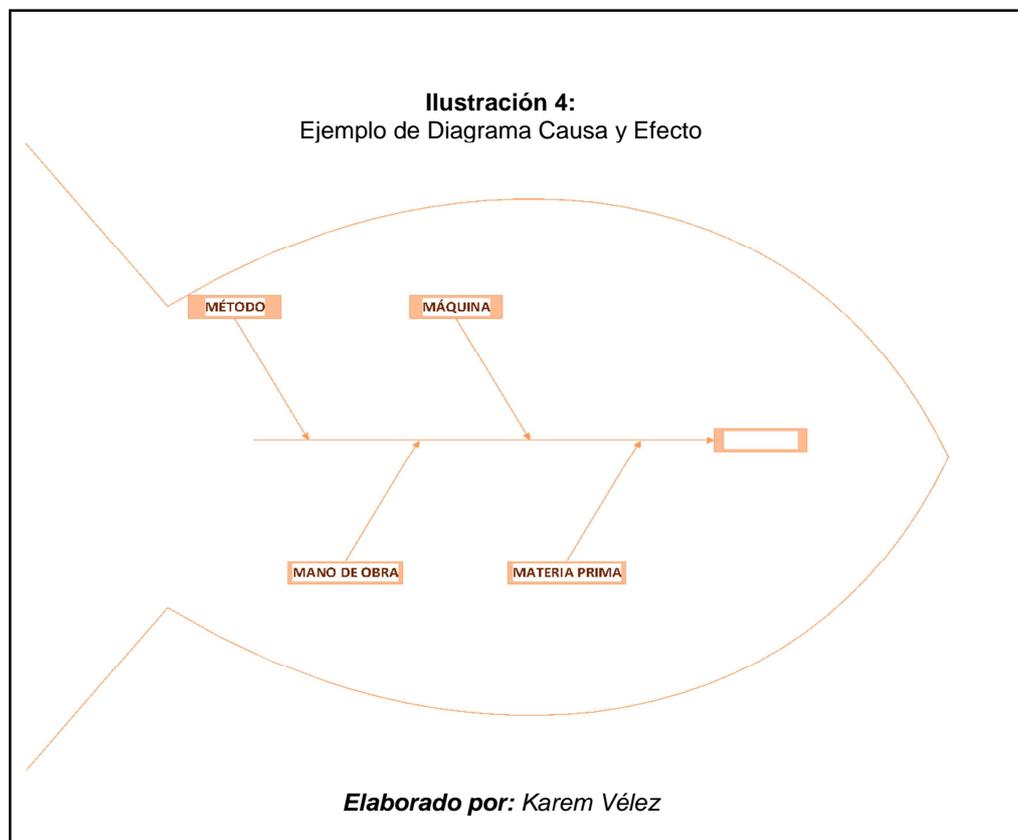


## **2.5. Diagrama causa y efecto**

### **DEFINICIÓN**

La finalidad de esta herramienta es analizar las posibles causas, las cuales se selecciona las principales y se documentan, dando así con el origen que ocasionan impedimentos para la realización continúa del procedimiento.

Una vez detectada la causa raíz del problema debe ser eliminada con la participación de todas las personas involucradas y así poseer procesos de calidad en la compañía<sup>4</sup>.



<sup>4</sup> Herramientas Para El Análisis Y Mejora De Procesos, Programa Especial De Mejora A La Gestión En La Administración Federal (2008-2012).

## 2.6. Metodología 5w 1h

5w 1h es una herramienta utilizada por las empresas que buscan soluciones a los principales problemas que aquejan a la compañía, su metodología se fundamenta en buscar las causas que se consideran de mayor riesgo por cada problema encontrado y realizar preguntas lógicas que pueden establecer posibles soluciones.<sup>5</sup>

A continuación, **Tabla 4** es el modelo a utilizarse para el análisis:

**Tabla 4:**  
Formato herramienta 5W y 1 H

¿Qué?		¿Quién?	¿Dónde?	¿Cuándo?								¿Cómo?	¿Con qué?
CAUSA	ACTIVIDADES SECUENCIALES	RESPONSABLE	ÁREA	MES 1				MES 2				Instrumentos de trabajo	Recursos
				S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4		

*Elaborado por: Karem Vélez*

## 2.7. Indicadores del proceso

### DEFINICIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN

Los indicadores de gestión se hallan como una expresión cuantitativa del proceder o el desempeño de toda una empresa o una de sus partes cuya capacidad al ser cotejada con algún nivel de referencia, puede estar indicando una desviación sobre la cual se tomarán acciones correctivas o

<sup>5</sup> Diseño de un Sistema de Gestión por Procesos para una empresa radiodifusora en la ciudad de Guayaquil, 2015

preventivas según sea el caso. Son un subconjunto de los indicadores, porque sus mediciones están conexas con el modo en que los servicios o productos son generados por la compañía. El valor del indicador es el efecto de la medición del indicador y forma parte de un valor de comparación, referente a su meta asociada, (Lorino, Costos, 1996).

En el desarrollo de los indicadores deben identificar necesidades conformes al área involucrada, catalogando según la naturaleza de los datos y la necesidad del indicador. Es por esto que los indicadores pueden ser individuales y globales, (Paredes, 2009).

Los indicadores según (Paredes, 2009) para un área tienen de referencia los procesos en los cuales se intervienen, y tiene que ver con:

**Funciones:**

La función es la parte más importante del área, ya que constituye una pauta fundamental para comprender el papel del área o el proceso en la organización.

**Procesos:**

Describe las actividades y recursos que intervienen en el área o proceso que transforma las entradas en salidas, las actividades que tienen relación directa con los clientes, la interacción entre los elementos o subcomponentes del área.

**Estructura:**

Es la representación del área, determina la manera de cómo el proceso se encuentra alineado a sus actividades.

**Desempeño:**

Determina que el producto final o el resultado del proceso o área sea el que se esperaba.

**Clientes:**

Los clientes son las personas que reciben el producto final o el resultado de un área o proceso.

**Importancia de los indicadores**

Los indicadores son importantes debido a que permiten la medición de cambios ya sean positivos o no través del tiempo. Proporcionan resultados veraces para los cuales el encargado toma iniciativas o acciones según sea el caso. Son herramientas cuyo fin es la de evaluar y dar seguimiento al proceso de interés. Son instrumentos valiosos que sirven para orientar de cómo se pueden alcanzar mejores resultados en proyectos de desarrollo.

**Criterios para construir buenos indicadores**

Los criterios más utilizados para la construcción de los indicadores según (Paredes, 2009) son:

**Mensurabilidad:** Es conocida como la capacidad que se tiene para medir o normalizar lo que se pretende conocer.

**Análisis:** Dependiendo del tipo de variable o aspecto que se requiere medir, los cuales pueden ser cualitativos o cuantitativos.

**Relevancia:** Tomando en cuenta lo que la compañía requiere medir, los indicadores no deben tener ambigüedades y ser uniformes.

Los indicadores utilizados entre diferentes áreas o procesos deben estar claramente conectados. Deben enfocarse en establecer objetivos realistas de un proceso. Se debe buscar un punto de equilibrio entre los indicadores de resultado y los indicadores de actuación.

### **Bases para medir indicadores**

La medición permite proyectar con mayor probabilidad de confiabilidad las oportunidades de mejora que posee un proceso permitiendo analizar y revelar cómo han sucedido los hechos. El elemento más importante es conocer en detalle los procesos sean jerárquicos o de apoyo de la empresa y para poder determinar su mejoramiento. Para poder tener conocimiento la variabilidad del proceso y sus posibles causas son absurdas de conocer sin medición. La medición mediante los indicadores es la clave para gerenciar el proceso, para alcanzar los objetivos de excelencia que se plantea la empresa, (Lorino , 1994).

La medición según (González Fernández, 2006) no solo se puede concebir como un proceso de recolección de datos, sino que deben ser adecuados para que los encargados realicen una adecuada toma de decisiones. Para poder entender un resultado es necesario tener la teoría que ayude a explicar la sucesión de los hechos que se requieren estudiar. Los datos ayudaran a confirmar o a replantearse la teoría, pero siempre se debe contar con un marco teórico que posibilite caracterizar los datos y que ayude a interpretarlos. Se puede obtener muchos datos como resultados, pero el encargado deberá clasificarlos, estudiar su frecuencia, aislar datos que no aporten en el objeto de estudio y establecer relaciones en caso de tenerlas, cuya finalidad, es tener el área o proceso bajo control y poder mejorar su desempeño.

## **2.8. Bases estadísticas**

Para la realización de las cartas de control, es necesario el entendimiento del control estadístico de procesos, tal como indica (RUIZ, 2006) no es necesario ser un experto en estadística, pero es preciso recordar al menos los puntos que se describen a continuación.

### **a) Distribución Normal o Campana de Gauss.**

La distribución normal es desde luego la función de densidad de probabilidad “estrella” en estadística. Depende de dos parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , que son la media y la desviación típica respectivamente. Tiene una forma acampanada (de ahí su nombre) y es simétrica respecto a  $\mu$ . Llevando múltiplos de  $\sigma$  a ambos lados de  $\mu$ , nos encontramos con que el 68% de la población está contenido en un entorno  $\pm 1 \sigma$  alrededor de  $\mu$ , el 95% de la población está contenido en un entorno  $\pm 2 \sigma$  alrededor de  $\mu$  y que el 99,73% está comprendido en  $\pm 3 \sigma$  alrededor de  $\mu$ .

### **b) Teorema del Límite Central.**

El teorema del límite central (TLC) establece que si una variable aleatoria (v. a.) se obtiene como una suma de muchas causas independientes, siendo cada una de ellas de poca importancia respecto al conjunto, entonces su distribución es asintóticamente normal.

Si  $X = x_1 + x_2 + \dots + x_n$  donde las  $x_i$  son v.a de media  $\mu_i$  y varianza  $\sigma_i^2$

Entonces:  $X \rightarrow N \left( \sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \right)$

### **c) Distribución de las medias muestrales**

Si  $X$  es una variable aleatoria  $N(\mu, \sigma)$  de la que se extraen muestras de tamaño  $n$ , entonces las medias muestrales se distribuyen según otra ley normal:

$$\bar{x}_m \propto N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Obsérvese que, como consecuencia del TLC, la distribución de las medias muestrales tiende a ser normal aún en el caso que la población base no lo sea, siempre que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande  $n > 25$ , si bien este número depende de la asimetría de la distribución.

Según (Sánchez M. A., 2016) para las características medibles, existe interés principalmente por estimar:

- La media  $\mu$  del proceso a través de  $\bar{x}$ . Donde  $\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$ ; y  $n$  es el tamaño de la muestra. Con  $x_i$  normalmente distribuida se tiene  $\bar{x}$  que  $\in N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$  y cuando  $x$  no proviene de una distribución Normal, la aplicación del teorema central del límite soluciona el problema.
- La variabilidad a través del rango  $R$  en cada muestra. Dado que  $R = \max(x_i) - \min(x_i)$  y aplicando el Teorema de Crámer, el cual indica que si  $X$  e  $Y$  son variables aleatorias independientes y ambas están normalmente distribuidas y son sus respectivas medias  $(\mu_X, \mu_Y)$  y varianzas  $(\sigma_X, \sigma_Y)$  entonces  $V = X - Y \in N(\mu_X - \mu_Y, \sigma_X^2 + \sigma_Y^2)$  de tal forma es fácil observar que  $R$  tiene distribución normal.
- La desviación estándar  $\sigma$ , a través de  $S$  o  $\sigma^2$  utilizando  $S^2$ . Donde  $S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{n-1}$ , y por tanto  $S = \sqrt{S^2}$ .

Por otro lado, si las características de calidad es una cualidad (defectuosa o no defectuosa) pero puede ser cuantificada, se tienen los siguientes estimadores:

Para características cuantificables, los estimadores utilizados son:

- Número de elementos  $D$  que no cumplen con las características de calidad (disconformes) y que pertenecen a una muestra de tamaño  $n$ . Su función de distribución de probabilidad es binomial, donde  $E(D) = np$ , y  $Var(D) = np(1 - p)$ .
- Fracción de disconformes  $p$ , siendo su estimador  $\hat{p} = \frac{D}{n}$ . Haciendo uso de esta última relación, aparece el gráfico de control para el número de disconformes  $np$ , siendo fácil deducir que  $D = n\hat{p}$ . Tiene función de distribución de probabilidad binomial;  $E(\hat{p}) = \frac{E(D)}{n}$ , y  $Var(\hat{p}) = \frac{Var(D)}{n^2} = \frac{np(1-p)}{n^2} = \frac{p(1-p)}{n}$ .
- Cantidad de defectos  $c$  o disconformidades por unidad de observación. Tiene una función de distribución de probabilidad Poisson, donde la  $E(X) = Var(X) = c$ . Además  $\hat{c} = \hat{c}$ .
- Promedio de defectos por unidades de inspección  $\mu$ , cuando  $\mu = \frac{x}{n}$ , siendo  $x$  el número de disconformidades totales en una muestra de  $n$  unidades de inspección. Siendo  $X \in \text{Poisson}(\lambda)$  se tiene  $E(\mu) = E\left(\frac{X}{n}\right) = \frac{E(x)}{n} = \frac{\lambda}{n}$  y  $Var(\mu) = Var\left(\frac{X}{n}\right) = \frac{Var(X)}{n^2} = \frac{\lambda}{n^2}$ . Haciendo el cambio de variable  $p = \frac{\lambda}{n}$  y utilizando la aproximación de la Poisson a la Normal, se tiene que  $\mu \in N\left(p, \frac{p}{n}\right)$ . Si no se cuenta con el parámetro  $p$ , se lo estima a través de  $\hat{p} = \bar{u}$  con  $\mu \neq \bar{u}$ . (Sánchez I., 2006)

Además (Montgomery, 2011), indica el tamaño de la muestra que debe usarse como la frecuencia del muestro. En general, las muestras grandes facilitarán la detección de corrimientos pequeños en el proceso.

### **Cartas de control para $\bar{x}$ y R**

#### **Fundamentos estadísticos de las cartas**

(Montgomery, 2011) indica que suponer una característica de la calidad tiene una distribución normal con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ , donde tanto  $\mu$  como  $\sigma$  son conocidas. Si  $x_1, x_2, \dots, x_n$  es una muestra de tamaño  $n$ , entonces el promedio de esta muestra es

$$\bar{x} = \frac{x_1, x_2, \dots, x_n}{n}$$

Y se sabe que  $\bar{x}$  sigue distribución normal con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ .

Además, la probabilidad es de  $1 - \alpha$  para que cualquier media muestral se localice entre

$$\mu + Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\mu - Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Por lo tanto, si  $\mu$  y  $\sigma$  son conocidas, las ecuaciones anteriores podrían usarse como límites de control superior e inferior en una carta para las medias muestrales, se acostumbra a sustituir  $Z_{\alpha/2}$  con 3, a fin de trabajar

con límites tres sigma. Si la media de una muestra se localiza fuera de estos límites, se trata de un indicio de que la media del proceso ha dejado de ser igual a  $\mu$ . (Montgomery, 2011)

Se ha supuesto que la distribución de la característica de la calidad es normal. Sin embargo, los resultados anteriores siguen siendo aproximadamente válido incluso cuando la distribución fundamental no es normal, debido al teorema del límite central. (Montgomery, 2011)

En la práctica, (Montgomery, 2011) relata que generalmente no se conocen los valores de  $\mu$  y  $\sigma$ . Por lo tanto, deben estimarse a partir de muestras o subgrupos tomados cuando se considera que el proceso está bajo control. En general, estas estimaciones deberán basarse en al menos 20 o 25 muestras. Suponer se cuenta con  $m$  muestras, cada una de las cuales contiene  $n$  observaciones de la característica de la calidad. De manera típica,  $n$  será pequeña, con frecuencia ya sea 4,5 o 6. Estos tamaños pequeños de la muestra suelen resultar de la construcción de subgrupos racionales y del hecho de que los costos de muestreo e inspección asociados con la medición de las variables por lo general son relativamente altos Sean  $x_1, x_2, \dots, x_m$  los promedios de cada muestra. Entonces el mejor estimador de  $\mu$ , el promedio del proceso es el gran promedio, por ejemplo,

$$\bar{\bar{x}} = \frac{x_1, x_2, \dots, x_m}{m}$$

Por tanto,  $\bar{\bar{x}}$  se usaría como la línea central (CL, por sus siglas en inglés) en la carta  $\bar{x}$ .

Para construir los límites de control, es necesaria una estimación de la desviación estándar  $\sigma$ . (Montgomery, 2011)

(Montgomery, 2011) nos recuerda que  $\sigma$  puede estimarse a partir de las desviaciones estándar o bien por el rango de las  $m$  muestras. Por el momento, nos concentramos, aquí en el método del rango. Si  $x_1, x_2, \dots, x_n$  es una muestra de tamaño  $n$ , entonces el rango de la muestra es la diferencia entre las observaciones menor y mayor, es decir,

$$R = x_{m\acute{a}x} - x_{m\acute{i}n}$$

Sean  $R_1, R_2, \dots, R_m$  los rangos de las  $m$  muestras. El rango promedio es

$$\bar{R} = \frac{R_1, R_2, \dots, R_m}{m}$$

Ahora pueden darse las fórmulas para construir los límites de control de la carta  $\bar{x}$ . Estos son los siguientes:

#### **Límites de control de la carta $\bar{x}$**

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

La variabilidad del proceso puede monitorearse graficando los valores del rango muestral  $R$  en una carta de control, (Montgomery, 2011). La línea central y los límites de control de la carta  $R$  son los siguientes:

#### **Límites de control de la carta $R$**

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$LCL = D_3\bar{R}$$

Existe una relación bien definida con el rango de una muestra de una distribución normal y la desviación estándar de esa distribución. A la variable aleatoria  $W = R/\sigma$  se llama rango relativo. Los parámetros de la distribución de  $W$  son una función del tamaño de la muestra  $n$ . La media de  $W$  es de  $d_2$ . Por consiguiente, un estimador de  $\sigma$  es  $\hat{\sigma} = R/d_2$ . Por lo tanto  $\bar{R}$  es el rango promedio de las  $m$  muestras preliminares, pueden usarse. (Montgomery, 2011)

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Para estimar  $\sigma$ . Se trata de un estimador insesgado de  $\sigma$ .

Si se usa  $\bar{x}$  como estimador de  $\mu$  y  $R/d_2$  como estimador de  $\sigma$ , entonces los parámetros de la carta  $\bar{x}$  son

$$UCL = \bar{x} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$CL = \bar{x}$$

$$LCL = \bar{x} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

Si se define

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$$

Consideremos ahora la carta  $R$ . La línea central será  $\bar{R}$ . Para determinar los límites de control se necesita un estimador de  $\sigma_R$  puede encontrarse a partir de la distribución del rango relativo  $W = R/\sigma$ . La desviación estándar de  $W$ , por ejemplo  $d_3$ , es una función conocida en  $n$ . Por tanto, ya que la

$$R = W\sigma$$

La desviación de  $R$  es

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \sigma$$

Puesto que  $\sigma$  es desconocida

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Por consiguiente, los parámetros de la carta  $R$  con los límites de control tres sigmas usuales son

$$\mathbf{UCL} = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\mathbf{CL} = \bar{R}$$

$$\mathbf{LCL} = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Y si se hace

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$$

Y

$$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

### **Límites de control de prueba**

Cuando se utiliza muestras preliminares para construir las cartas de control  $\bar{x}$  y  $R$ , se acostumbra tratar a los límites de control obtenidos de las ecuaciones

$$\mu + Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\mu - Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Como límites de control de prueba. Permiten determinar si el proceso se encontraba bajo control cuando se seleccionaron las  $m$  muestras iniciales. Para probar la hipótesis del control pasado, se grafican los valores  $\bar{x}$  y  $R$  de cada muestra en las cartas y se analiza la representación resultante. Si todos los puntos se localizan dentro de los límites de control y no es evidente ningún comportamiento sistemático, se concluye entonces que el proceso estaba bajo control en el pasado, y los límites de control de prueba son apropiados para controlar la producción actual a futura. En ocasiones se hace referencia a este análisis de datos pasados como un análisis de fase 1. Es altamente deseable contar con 20 o 25 muestras o subgrupos de tamaño  $n$  (típicamente el valor de  $n$  está entre 3 y 5) para calcular los límites de control de prueba. Es posible, desde luego, trabajar con menos

datos, pero los límites de control no son tan confiables. (Montgomery, 2011)

Suponer que uno o más valores de los valores de  $\bar{x}$  o de  $R$  se localizan fuera de control cuando se comparan con los límites de control de prueba. Evidentemente, si los límites de control para la producción actual o futura deben ser significativos, deben basarse en datos de un proceso que esté bajo de control. Por lo tanto, cuando la hipótesis del control pasado se rechaza, es necesario revisar los límites de control de prueba, Esto se hace examinando cada uno de los puntos fuera de control buscando una causa asignable. Si no se encuentra una causa asignable, el punto se descarta y los límites de control de prueba se calculan de nuevo utilizando únicamente los puntos restantes. Después estos puntos restantes vuelven a examinarse para el control, punto en el cual los límites de control de prueba se adoptan para uso actual. (Montgomery, 2011)

En algunos casos, quizá no sea posible encontrar una causa asignable para un punto que se localiza fuera de control. Hay dos cursos de acción posible. El primero es eliminar el punto como si se hubiera encontrado una causa asignable. No existe ninguna justificación analítica para elegir esta acción, de no ser que los puntos que están fuera de los límites de control posiblemente se hayan sacado de una distribución de probabilidad característica de un estado fuera de control. La alternativa es conservar el punto (o puntos) considerando los límites de control como apropiados para el control actual. Desde luego, si el punto en realidad representa una condición fuera de control, los límites de control resultantes serán muy anchos. Sin embargo, si sólo hay uno o dos de estos puntos, esto no distorsionará significativamente la carta de control. Si muestras futuras

continúan indicando control, entonces los puntos no explicados probablemente pueden omitirse sin peligro. (Montgomery, 2011)

Ocasionalmente, cuando los valores muestrales iniciales de  $\bar{x}$  y  $R$  se grafican contra los límites de control de prueba, muchos puntos fuera de control. Evidentemente, si se omiten de manera arbitraria los puntos fuera de control, se tendrá una situación insatisfactoria, ya que quedarán pocos datos con los cuales volver a calcular los límites de control confiables. Sospechamos asimismo que este enfoque ignoraría mucha información útil contenida en los datos. Por otra parte, es poco probable que la búsqueda de una causa asignable para cada punto fuera de control sea exitosa. Hemos encontrado que cuando los valores muestrales iniciales se localizan fuera de control contra los límites de prueba, es mejor concentrarse en el patrón que forman los puntos. Casi siempre existirá este patrón. Generalmente, es muy sencillo identificar la causa asignable asociada con el patrón de puntos fuera de control. La eliminación de este problema con el proceso suele resultar en un mejoramiento importante del mismo. (Montgomery, 2011)

### **Estimación de la capacidad del proceso**

Una manera de expresar según (Montgomery, 2011) la capacidad del proceso es en términos del índice de capacidad del proceso (PCR, por sus siglas en inglés)  $C_p$ , que para una característica de la calidad con límites tanto superior como inferior de la especificación (USL y LSL, respectivamente) es

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

Para este índice cuando  $C_p = 1$  el proceso fabrica un número relativamente pequeño de disconforme (0,3 %),  $C_p < 1$  el proceso fabrica un número mayor de disconforme (0,3 %) pero se encuentra bajo la normalidad,  $C_p > 1$  el proceso fabrica una proporción de defectuosos inferiores al 0,03%.

### **Índice Cpi, Cps**

El índice  $C_p$  toman en cuenta el centro de los valores del proceso, una forma de evaluar los índices por separado para verificar el cumplimiento de la especificación inferior y superior, a través del índice de capacidad inferior ( $C_{pi}$ ) y el índice de capacidad superior ( $C_{ps}$ ).

$$C_{pi} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

### **La longitud promedio de la corrida para la carta $\bar{x}$**

Para cualquier carta de control de Shewart, la ARL puede expresarse como

$$ARL = \frac{1}{P(\text{un punto se localice fuera de control})}$$

O bien

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$$

para el ARL bajo control y

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta}$$

Para la ARL fuera de control. Estos resultados en realidad son muy intuitivos. Si las observaciones graficadas en la carta de control son independientes, entonces el número de puntos que deben graficarse hasta que ocurra el primer punto que exceda un límite de control es una variable aleatoria geométrica con parámetro  $p$ . La media de esta distribución geométrica es simplemente  $1/p$ . La longitud promedio de la corrida.

Puesto que es relativamente sencillo desarrollar una expresión general para  $\beta$  en la carta de control  $\bar{x}$  para detectar un corrimiento en la medida de  $k\sigma$ , entonces no es difícil construir un conjunto de curvas ARL para la carta  $\bar{x}$ .

En ocasiones son de interés otras dos medidas del desempeño basadas en el ARL. El tiempo promedio hasta la señal es el número de periodos de tiempo que ocurren hasta que se genera una señal en la carta de control. Si las muestras se toman intervalos de tiempo  $h$  con el mismo espaciamiento, entonces el tiempo promedio hasta la señal o ATS es.

$$ATS = ARL h$$

Puede ser útil también expresar la ARL en términos del número esperado de unidades individuales muestreadas, por ejemplo,  $l$  en vez de usar el número de muestras tomadas para detectar un corrimiento. Si el tamaño de la muestra es  $n$ , la relación entre  $l$  y ARL es

$$I = n \text{ ARL}$$

### **Otros gráficos univariantes**

Existen otros gráficos para el caso univariante además de los propuestos por Walter Shewhart para el control de procesos donde no solo usan información contenida en la última muestra para la toma de decisiones, sino que además incluyen toda la información de los puntos anteriores. Esta información acumulada es de gran importancia en lo que podríamos denominar la fase de monitorización. Los gráficos de sumas acumuladas o gráficos CUSUM y los gráficos con medias ponderadas exponencialmente o gráficos EWMA no se basan en las observaciones individuales, o promedios de una muestra de ellas, sino en la acumulación de la información. Por esta razón se les denomina también gráficos con memoria. El gráfico de sumas acumulativas o gráficos CUSUM (Cumulative Sum) que basa en el análisis de toda o la mayor parte de la muestra. Para este fin se usa el estadístico  $S_r$ . (Loaiza, 2013)

$$S_r = \sum_{i=1}^r (\bar{x}_i - \mu_0)$$

Este estadístico tiene en cuenta las  $r$  primeras submuestras para tomar la decisión sobre la muestra  $r$  ésima. Considerando todas las diferencias de cada media muestral ( $\bar{x}_i$ ) con la media del proceso ( $\mu_0$ ). Si se llama a estas diferencias  $d_i = \bar{x}_i - \mu_0$ . La idea del gráfico CUSUM es representar las sumas acumuladas de estas diferencias, es decir los valores:  $s_1 = d_1$ ,  $s_2 = d_1 + d_2$ , . . ., de esta forma en cada instante  $r$  se considera también la información histórica de los valores anteriores. Un desajuste pequeño se irá

así acumulando haciendo más fácil su detección. Bajo el supuesto de normalidad la distribución del estadístico  $S_r \in N\left(r(\mu - \mu_0), \frac{r\sigma_0^2}{n}\right)$ .

Para los gráficos EWMA el estadístico dibujado es la media ponderada de la observación actual y todas las observaciones precedentes, donde la media previa recibe más peso, es decir,  $Z_t = \lambda x_t + (1 + \lambda)Z_{t-1}$ ,  $0 < \lambda < 1$ .

Donde:

$$Z_0 = \mu, Z_t \text{ y } Z_{t-1}$$

son las medias móviles ponderadas exponencialmente en el tiempo actual

$t$  y  $t - 1$

respectivamente,  $x_t$  es la observación presente y  $\lambda$  es el factor de ponderación para la observación actual.

Si se cumple la hipótesis de independencia y la estabilidad sobre los  $x_t$ , se tiene que  $E(Z_t) = \mu$  y  $V ar(Z_t) = \sigma^2 \frac{(1-\lambda)^{2t}}{2-\lambda}$ .

### **Gráficos multivariantes**

El interés en el control estadístico del proceso multivalente está en controlar un vector de  $p$  componentes, que desde el punto de vista estadístico se denominaría variable aleatoria  $p$ -dimensional, o vector aleatorio, y se podría denotar por  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ , y sería un conjunto de  $p$  variables aleatorias unidimensionales definidas sobre el mismo espacio de probabilidad. Estas variables podrán medir datos de tipo discreto o de tipo continuo, e incluso con frecuencia tener unas componentes discretas y otras continuas. (Mosquera Restrepo, Olaya Ochoa, & Escobar, 2007)

La esperanza del vector aleatorio  $\vec{X}$ , también llamada vector de medias, es el vector formado por las medias individuales:

$$E\left(\vec{X}\right) = \begin{pmatrix} E(X_1) \\ E(X_2) \\ \dots E(X_p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \dots \mu_p \end{pmatrix} = \vec{\mu}$$

La matriz de varianzas-covarianzas asociada al vector de medias, es definida por

$$Cov\left(\vec{X}\right) = \Sigma = (\sigma_{ij}) = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \dots & \sigma_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \dots & \sigma_{pp} \end{bmatrix} = E\left(\left(\vec{X} - \vec{\mu}\right)\left(\vec{X} - \vec{\mu}\right)^T\right)$$

donde  $\sigma_{ij} = Cov(X_i, X_j)$

En particular, la matriz  $\Sigma$  es simétrica, en su diagonal aparecen las varianzas de las variables y fuera de ella las covarianzas entre cada par de variables. También puede comprobarse que la matriz de varianzas-covarianzas es semidefinida positiva. El determinante de  $\Sigma$  que coincide con el producto de todos sus autovalores, que son positivos es la llamada varianza generalizada de la variable multidimensional, pues conserva algunas de las propiedades de la varianza de una sola variable y mide la dispersión conjunta del vector de variables aleatorias. (Pérez López, 2004)

Una medida adimensional de la relación entre las variables componentes del vector aleatorio es la matriz de correlaciones, que es la formada por los coeficientes de correlación lineal,  $\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$ , siendo  $\sigma_i^2 = \sigma_{ii}$ . Esto da lugar a una matriz  $P_{p \times p} = (\rho_{ij})$ , con unos en la diagonal y elementos comprendidos entre 1 y -1 fuera de ella (los coeficientes de correlación de unas variables con otras).

A la hora de estimar cantidades como las anteriormente mencionadas (el vector de medias, la matriz de varianzas-covarianzas o la de correlaciones, por ejemplo) se puede proceder de forma análoga a lo ya conocido para variables aleatorias unidimensionales. Supongamos que se dispone de una muestra de datos correspondientes a la observación  $i$ ésima ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) de la  $j$ ésima característica de calidad ( $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ) en la  $k$ ésima muestra ( $k=1,2,\dots,m$ ), que pueden estructurarse mediante la matriz. El vector de medias poblacional,  $\vec{\mu}$ , puede estimarse mediante el llamado vector de medias muestral dado por:

$$X_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ijk}$$

y la estimación de la varianza para cada elemento del vector aleatorio viene dada por:

$$S_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ijk} - \vec{x}_{jk})^2$$

La matriz de varianzas-covarianzas poblacional puede estimarse también mediante su análoga muestral al igual que el vector de medias. Así dadas las covarianzas entre la característica de calidad  $j$ ésima y la característica de calidad  $h$ ésima para la  $k$ ésima muestra podrá estimarse mediante la expresión:

$$S_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ijk} - \vec{x}_{jk})(X_{ihk} - \vec{x}_{hk}), k = 1, 2, \dots, m; j \neq k$$

En base a los anteriores estimadores se definen los siguientes estimadores:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{s}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jk}^2, \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{s}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jhk}, \quad j \neq h$$

Estos cálculos pueden reescribirse en forma matricial:

$$\bar{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \dots \\ \bar{x}_p \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} \bar{s}_1^2 & \dots & \bar{s}_{1p} \\ & \ddots & \vdots \\ & & \bar{s}_p^2 \end{bmatrix}_{p \times p}$$

Estas estimaciones del vector de medias y de las matrices de varianzas-covarianzas son el punto de partida de muchas de las técnicas del control estadístico multivariante. Por ejemplo, se necesita estas estimaciones para aplicar la distribución multivariante más utilizada (como ya ocurría también en el caso univariante) es la normal multidimensional para el control estadístico de procesos multivariantes, que se denota por  $N_p(\vec{\mu}, \Sigma)$ , cuya densidad viene dada por:

$$f\left(\vec{x}\right) = (2\pi)^{-\frac{p}{2}} \det(\Sigma)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\vec{x} - \vec{\mu}\right)^t \Sigma^{-1}\left(\vec{x} - \vec{\mu}\right)\right]$$

,siendo  $\vec{\mu}$  un vector de p componentes y  $\Sigma$  una matriz de dimensión  $p \times p$  simétrica y definida positiva. Donde  $\vec{\mu}$  resulta ser el vector medias de esta distribución y que  $\Sigma$  es la matriz de varianzas-covarianzas de la misma.

Estos gráficos de control multivariantes sólo son válidos cuando la variable sigue una distribución normal multivariante, además la representación gráfica no es posible para  $p > 3$  y para  $d = 2$  el grafico pierde el orden cronológico. Una forma de sobrellevar estas limitaciones es mediante el control no paramétrico de procesos multivariantes que se basa en el concepto de profundidad de datos.

Los cuadros de control de suma acumulativa multivariada (MCUSUM) son ampliamente utilizados en industria porque son potentes y fáciles de usar, los cuales se acumulan para procesar datos y detectar rápidamente situaciones fuera de control. Procedimientos MCUSUM generalmente dará un control más estricto del proceso que los gráficos de control de calidad clásicos. Una señal MCUSUM no significa que el proceso está produciendo un mal producto. Más bien significa que se deben tomar medidas para que el proceso no produzca productos de mala calidad. Los procedimientos MCUSUM dan una indicación temprana del proceso cambio, son consistentes con una filosofía de gestión que alienta hacerlo bien la primera vez. Gráficos MCUSUM tienden a tener inercia que los puntos de datos posteriores llevan consigo, como resultado, cuando tendencia se produce en una dirección de la media objetivo y se produce un cambio resultante en otra dirección de la media objetivo, los dos tipos de gráficos no recogerán el cambio de inmediato. (M. S. HAMED & ENAYAT M., 2016)

## **Gráfico de control multivariado T2 de Hotelling**

En el caso de chi-cuadrado (Ruiz, 2013) indica que Harold Hotelling en 1947 planteó el uso del estadístico  $T^2$  para contraste de hipótesis de vectores de medias provenientes de una distribución normal p-variada. En este caso Hotelling buscó a través del estadístico  $T^2$  aumentar el número de variables p en la prueba sin reducir el nivel  $\alpha$  de significación de la prueba. Recuerde que si se desean controlar un número de variables de calidad  $p > 1$  (un gráfico de control por cada variable) la probabilidad que los p parámetros se encuentren en sus límites de control es  $(1 - \alpha)^p$  si las p variables son independientes y  $P(\text{Error tipo I}) = 1 - (1 - \alpha)^p$ , con nivel de significación  $\alpha$  para cada gráfico de control; además, es poco probable que con gráficos de control independientes sea detectado un valor anormal, atípico o también llamado influyente en regresión múltiple.

En 1936 Mahalanobis introdujo una distancia matemática que mide la distancia entre dos variables aleatorias  $(X, Y)$  p-dimensionales con igual función de distribución de probabilidades y matriz de varianzas y covarianzas  $\Sigma$ . Se definió como

$$d_m(X, Y) = \sqrt{(X - Y)' \Sigma^{-1} (X - Y)}$$

Por otro lado, si  $X' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$  con vector de medias  $\mu_X' = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]$  y matriz de covarianzas  $\Sigma_{p \times p}$  (simétrica y definida positiva), el cuadrado de la distancia estandarizada de X a  $\mu$  (cuadrado de la distancia de Mahalanobis) es

$$d_m^2 = (X - \mu)' \Sigma^{-1} (X - \mu)$$

Dado que  $\left(\frac{-1}{2}\right) \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) = \left(\frac{-1}{2}\right) (x-\mu) (\sigma^2)^{-1}(x-\mu)$  se tiene lo siguiente para  $X \sim N(\mu, \sigma)$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} e^{\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} e^{\left[\frac{-1}{2} (x-\mu) (\sigma^2)^{-1}(x-\mu)\right]}$$

Generalizando para  $\mathcal{X} \sim \mathcal{N}_p(\mu, \Sigma)$

$$f(x) = \left[ \frac{1}{|\Sigma|^{\frac{1}{2}} (2\pi)^{\frac{p}{2}}} \right] \exp \left[ \left( \frac{-1}{2} \right) (x - \mu)' (\Sigma)^{-1} (x - \mu) \right]$$

Además, si  $X \sim N(\mu, \sigma)$ ,  $X^2 = \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 = (x-\mu)(\sigma^2)^{-1}(x-\mu) \sim \chi_{gl=1}^2$

Por lo tanto, al seleccionar una muestra aleatoria de la población, se tiene que

$$\chi_0^2 = n(\mathbf{X} - \mu)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X} - \mu) = nd_m^2$$

es el estadístico de la prueba y si deseamos realizar el gráfico de control  $T^2$  de Hotelling, se tiene que el UCL =  $\chi_{\alpha,p}^2$  y LCL = 0; siendo  $\alpha$  el nivel de significancia y  $p$  el número de variables de calidad monitorizadas.

Cuando no se cuenta con los parámetros originales se deben estimar:  $\hat{\Sigma} = \mathbf{S}$  y  $\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$ ; esto cambia el estadístico a  $T^2 = n(\bar{\mathbf{X}} - \bar{\bar{\mathbf{X}}})' \mathbf{S}^{-1} (\bar{\mathbf{X}} - \bar{\bar{\mathbf{X}}})$ .

Bajo algunas suposiciones, (Tracy, Young, & Mason, 1992) demuestran que la distribución de  $T_i^2$  es

$$T_i^2 = \frac{p(m-1)(m+1)}{m(m-p)} F_{p,m-p}$$

sus límites de control serían:

$$UCL = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{p,mn-m-p+1}$$

(Seber, 1984) indica que, si  $m$  tiende a infinito,  $T^2$  converge en distribución a una chi-cuadrado con  $p$  grados de libertad, siendo  $m$  el número de muestras utilizadas para estimar  $\mu_0$  y

$$T_i^2 \approx \chi_p^2$$

Cuando el proceso ha sufrido una desviación en al menos uno de los promedios de sus variables, el vector  $\mu_1$  se aleja del vector de promedios  $\mu_0$  del estado bajo control en una distancia  $d$  de Mahalanobis, entonces  $T^2$  tiene una distribución chi-cuadrado no centralizada con  $p$  grados de libertad y con descentrado

$$\lambda = nd^2 = n(\mu_1 - \mu_0)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_0)$$

siendo  $n$  el número de observaciones o tamaño de la muestra y  $\Sigma$  la matriz de covarianzas de  $X$ , durante el estado bajo control del proceso.

Uno de los problemas que se encontraron en este gráfico, fue la falta de identificación de la o las variables que generaban el estado de fuera de

control. (Murphy, 1987) propuso una selección de las variables que se encontraban fuera de control para un gráfico de control  $T^2$  de Hotelling identificando la aportación de cada variable al estadístico.

(Aparisi, 1996) hace una comparación del desempeño del gráfico  $T^2$  con el de los gráficos simultáneos de Shewhart para determinar las ventajas que ofrece el uso del gráfico  $T^2$ .

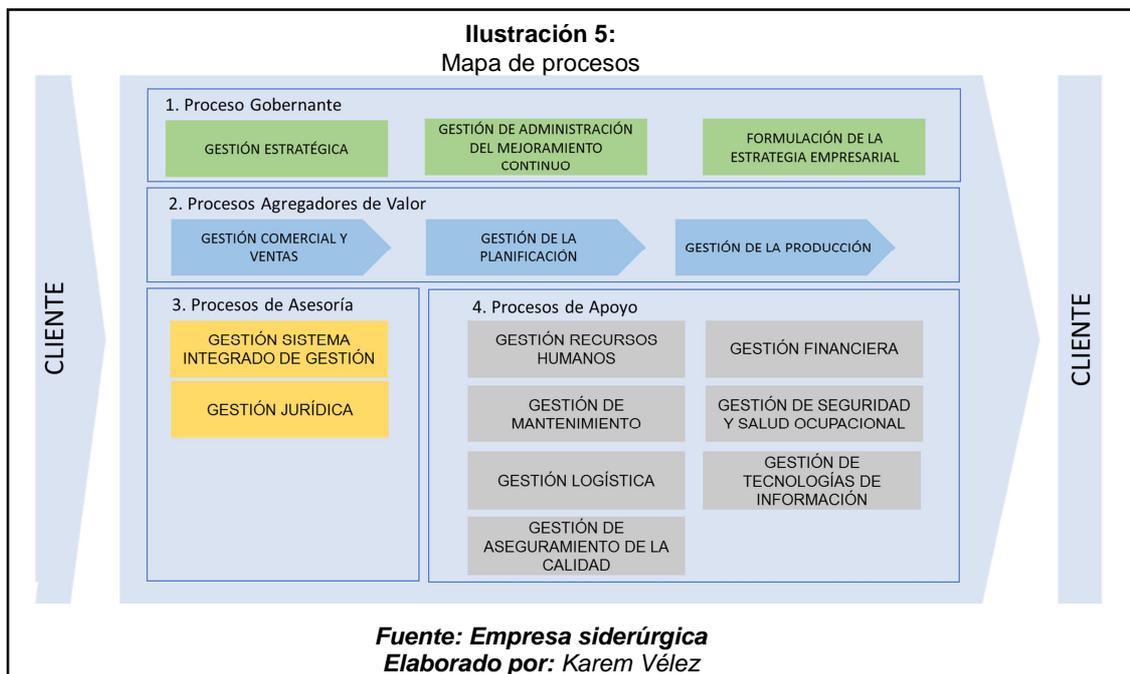
Para obtener una mejor descripción del gráfico  $T^2$  ver (Montgomery, 2011) capítulo 11 o (Johnson & Wichern, 2007) capítulo 5. Tal como ocurre con el gráfico MEWMA (Lowry, et al, 1992) o CUSUM multivariante (Woodall & Ncube, 1985); (Crosier, 1988), también existen mejoras en el gráfico  $T^2$ .

## CAPÍTULO III

### 3. Análisis de situación actual del proceso

#### 3.1. Mapa de procesos

Se muestra en la **Ilustración 5** el mapa de procesos propuestos para la empresa el cual se ve reflejado la interacción entre ellos para llegar a un fin que es la satisfacción del cliente.



#### 3.2. Antecedentes del objeto de estudio.

La empresa siderúrgica es conocida a nivel nacional gracias a su compromiso de mejora continua en fabricar productos de calidad y entregando a tiempo los pedidos y logrando la satisfacción de los clientes.

En el departamento Control de Calidad posee un personal calificado para cumplir con los procesos encadenados en la calidad, en el Laboratorio Físico Mecánico se encuentra la Báscula de Pesaje de Producto Terminado, en la misma se pesan los bultos de las varillas que han sido fabricadas, mediante un procedimiento de pesaje, en la cual una vez pesada el lote de la producción, se realiza el cierre de turno mediante un informe donde se compendia la cantidad de materia prima que fue utilizada, importe de producción y mermas o pérdidas que se han forjado en el proceso de laminación.

El objeto de estudio se basa en el informe que se genera por el cierre de turno, específicamente en las mermas generadas en el proceso, datos que se receiptan físicamente mediante tickets de pesaje.

Se ha tabulado información de los informes del mes de enero del año 2017 los cuales se hallan debidamente sellados, correspondiente a una campaña de 12mm de diámetro varilla corrugada.

### **3.3. Proceso de producción.**

Para poder obtener el producto final que es la varilla de 12 milímetros. Tal como indica (Villavicencio Cabrera , 2014) el acero pasa por un proceso muy extenso y de mucha flexibilidad.

La materia prima para este proceso es la chatarra, de las cuales existen tres:

**Chatarra Tipo A:** Es dura, de longitudes amplias y la cuál debe ser cortada en pedazos pequeños.

**Chatarra Tipo B:** Son de longitudes chicas como barriles.

**Chatarra Tipo C:** Son latas de bebidas y piezas muy pequeñas de acero y retornos de acería.

La chatarra debe ser la misma o parecida composición del acero que se obtiene. Para esto se carga en las cestas la chatarra que irán al horno.

La chatarra que se encuentran dentro de la nave industrial, es operada por un puente-grúa, que se encarga de recolectar la chatarra y ubicarla en los recipientes de carga que se los designa como “Cestas de carga”. Estos tienen sistema mecánico, en el cual, cuando funciona se abren dos mandíbulas de la parte inferior dejando caer la carga en el horno de fundición. (Villavicencio Cabrera , 2014)

Las cestas son transportadas al horno, por el puente grúa, que se encarga en depositar la chatarra dentro del horno, el resultado que se obtiene es un cubo de 40cm x 40cm. (Villavicencio Cabrera , 2014)

Los cubos obtenidos ingresan al proceso de fundición iniciando en el horno de arco eléctrico que es el responsable de fundir la chatarra a un estado líquido , luego pasa al horno cuchara cuya función es afinar el acero, aquí baja la temperatura por el cambio de un horno a otro, cuando se encuentra en otro horno vuelve a recuperar la temperatura, , finalmente a través de una grúa aérea esta cuchara es llevada hasta el último horno, este horno se le designa colada continua, en este horno se obtiene la palanquilla, la cual es la materia prima que ingresa al proceso de laminación, a través de dos orificios el acero líquido es expulsado para su proceso de transformación, pasa por unos ductos llamados lingoteras, compuesto por un sistema de enfriamiento. (Villavicencio Cabrera , 2014)

La palanquilla es cortada a longitudes según lo solicitado departamento de producción de laminación. La palanquilla obtenida es comprobada, tanto su parte física y química según la norma técnica NTE INEN 105, para ser integrada al siguiente proceso, esta palanquilla se la recoge y se la lotiza identificándola con numeraciones denominadas coladas, como es laminación en caliente.

“LAMINACIÓN: El proceso de laminación es la deformación plástica del acero a través de diferentes técnicas y procedimientos.”

Para el proceso de laminación la materia prima utilizada es la palanquilla nacional. Se realiza la transportación y llegada al horno de precalentamiento, siendo este proceso definido y programado.

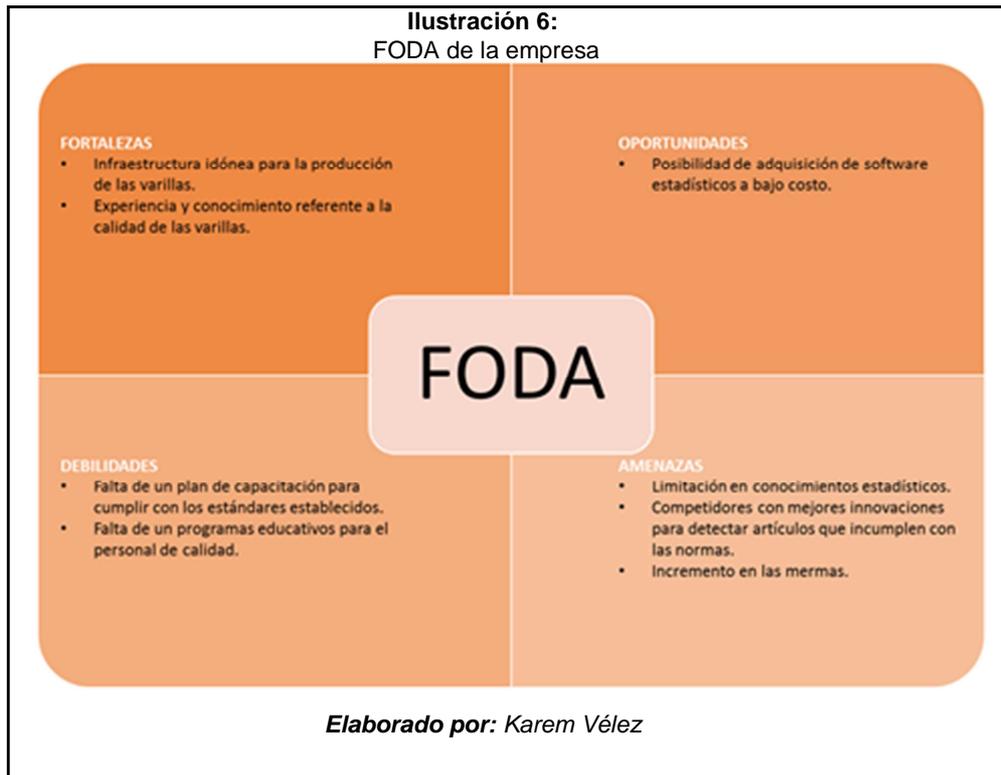
En el cual se utiliza material de residuo de petróleo refinado o bunker, en este proceso se produce un residuo denominado laminilla o cascarilla que son remanentes que se son utilizados como relleno de diversas áreas. Dentro del proceso de laminación se realizan dos productos, la varilla y el alambrón; siendo el más importante de estos dos, la varilla. (Villavicencio Cabrera , 2014)

### **3.3.1. Proceso de producción de varillas.**

El proceso emprende en el horno de recalentamiento, la materia prima es trasladada por montacargas hasta el horno, donde es verificada su rectitud.

### **3.4. FODA de la empresa.**

En la siguiente **Ilustración 6** se indica las fortalezas, oportunidades, debilidades y Amenazas que tiene la organización con el fin de realizar un análisis de la situación de la empresa, respecto a al proceso de laminación en caliente y control estadístico.



### 3.5. Diagrama de causa y efecto

Una vez ya identificado el problema general, sus actividades y sus oportunidades de mejora, se procede a evaluar los problemas que evitan que se cumplan los objetivos del proceso mediante un diagrama de Ishikawa (**Ilustración 7**) como se muestra a continuación:

Ilustración 7:  
Diagrama de Ishikawa de la empresa

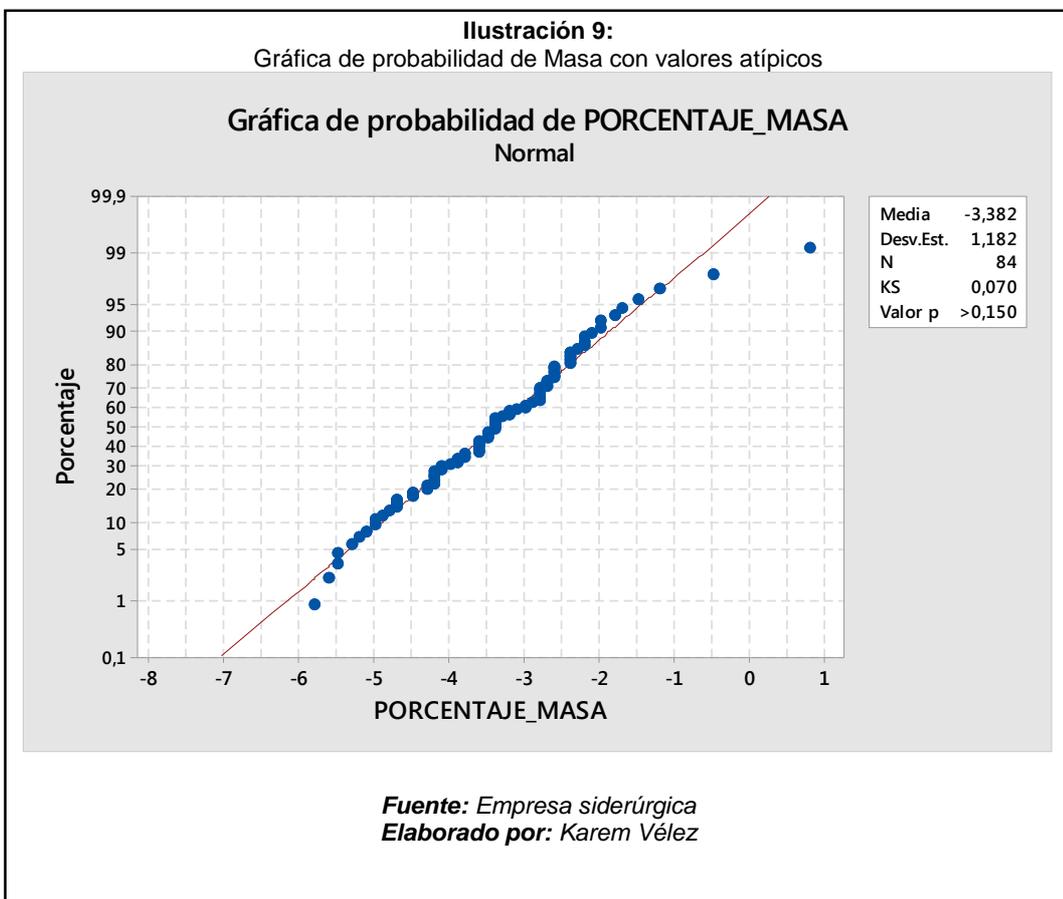
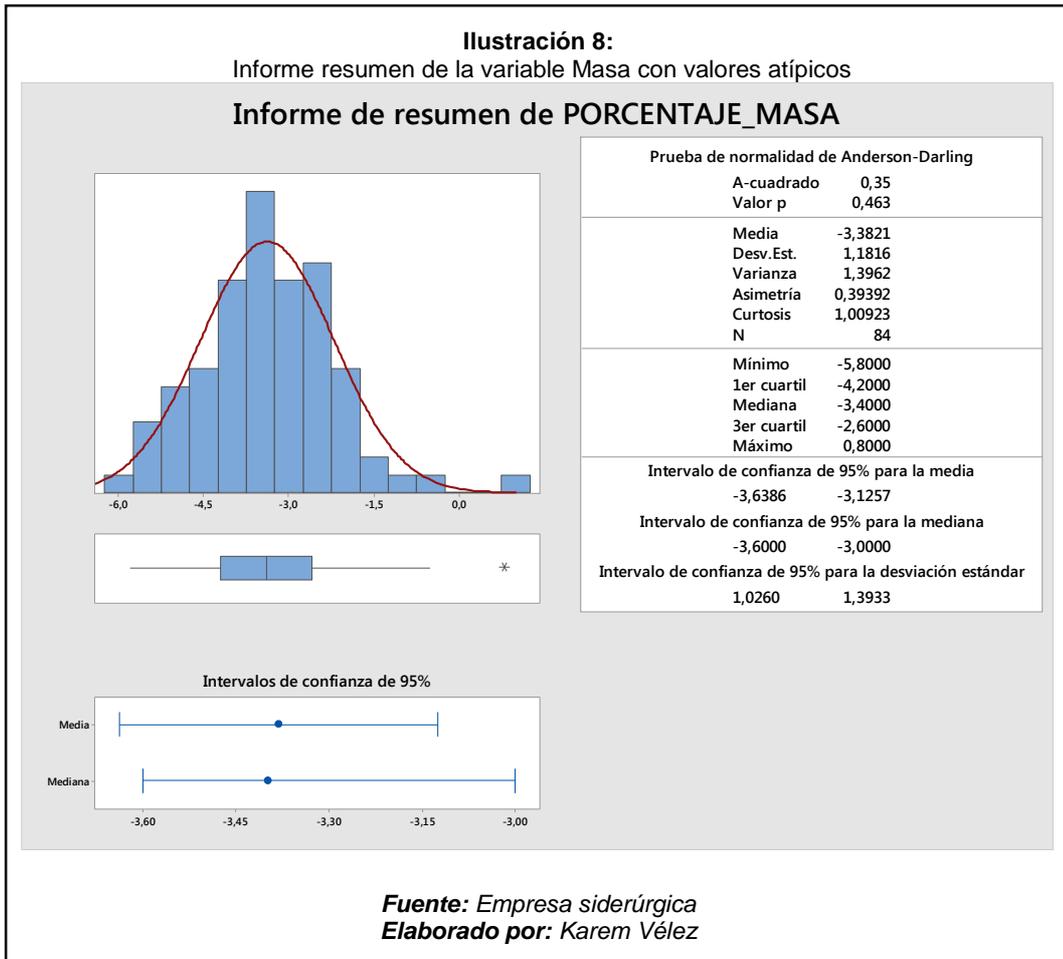


Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

### **3.6. Análisis Descriptivo de las variables**

La información obtenida en la báscula de pesaje de producto terminado consta de 84 informes de las varillas de 12 mm en el mes de Enero de 2017 que se encuentran cerrados y subidos en el sistema implementado en la empresa, las variables consideradas para la realización de esta tesis son porcentaje de masa, fluencia y resistencia.

En la **Ilustración 8** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable "PORCENTAJE\_MASA" correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre -2.75 y -4.25, además de observarse valores atípicos. El promedio de la variable porcentaje de la masa es de -3.3821, con una desviación estándar igual a 1.1816, el porcentaje máximo de masa es de 0.8, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos está sesgada a la izquierda del observador.



Se observa en la **Ilustración 9** que la variable “Porcentaje de masa” no es normal, para comprobar la información se realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no.

**Hipótesis:**

$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal.

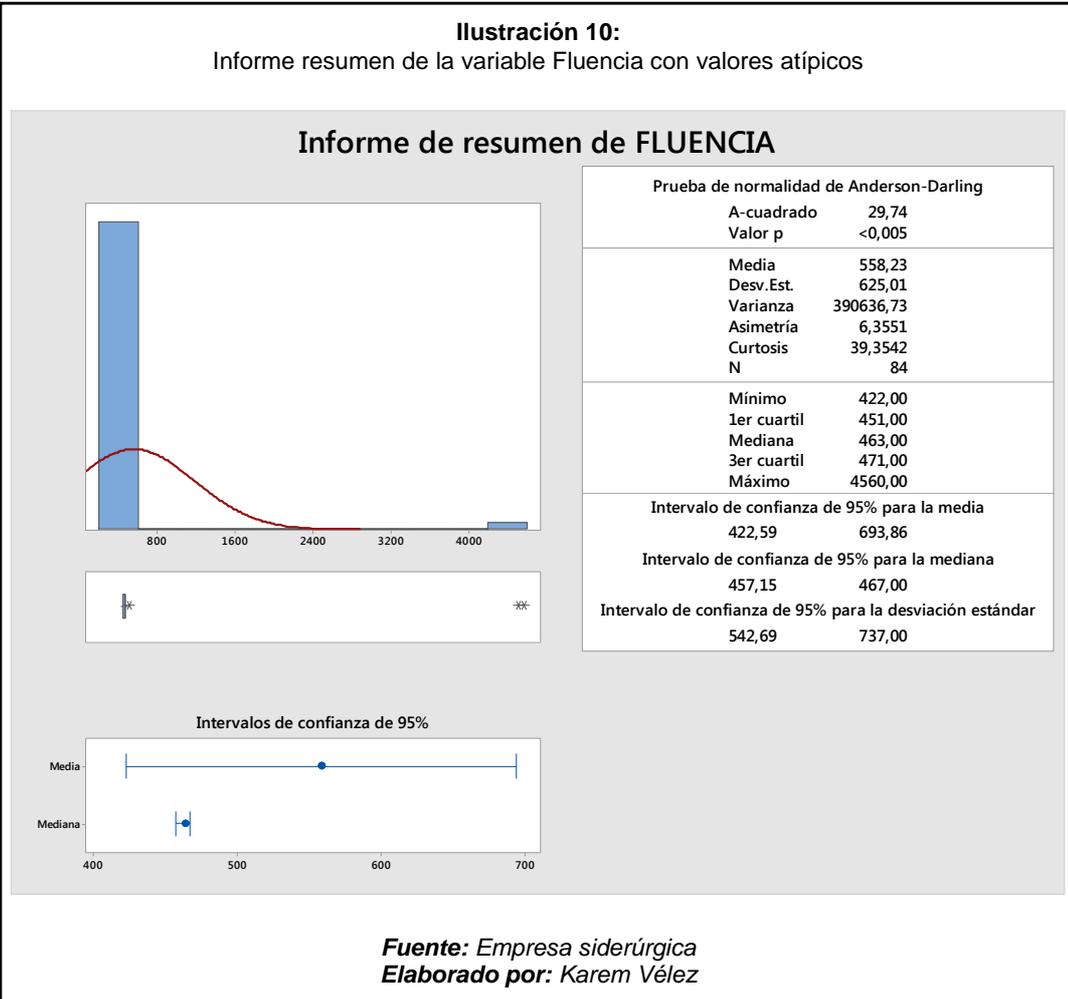
$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal.

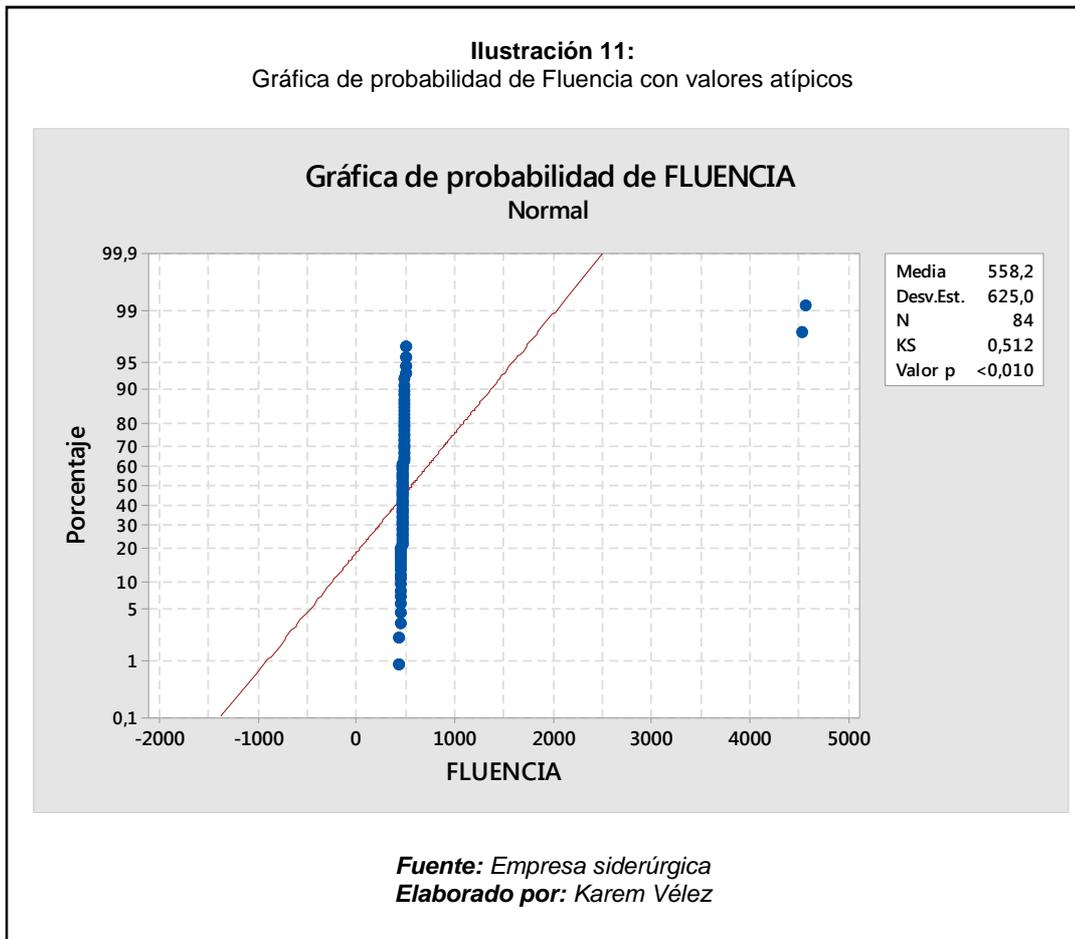
```
shapiro.test (datos$MASA)  
Shapiro-Wilk normality test  
data: datos$MASA  
W = 0.92968, p-value = 0.000195
```

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos no están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

En la **Ilustración 10** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable “FLUENCIA” correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre 410 y 700, además se observa un valor atípico demasiado obvio que altera la interpretación de la variable. El promedio de la variable fluencia es de 558.23, con una desviación estándar igual a 625.01, la fluencia máxima es de 4560, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos está sesgada a la izquierda del observador.

**Ilustración 10:**  
Informe resumen de la variable Fluencia con valores atípicos





Se observa en la **Ilustración 11** que la variable “Fluencia” no es normal, para comprobar la información realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no.

**Hipótesis:**

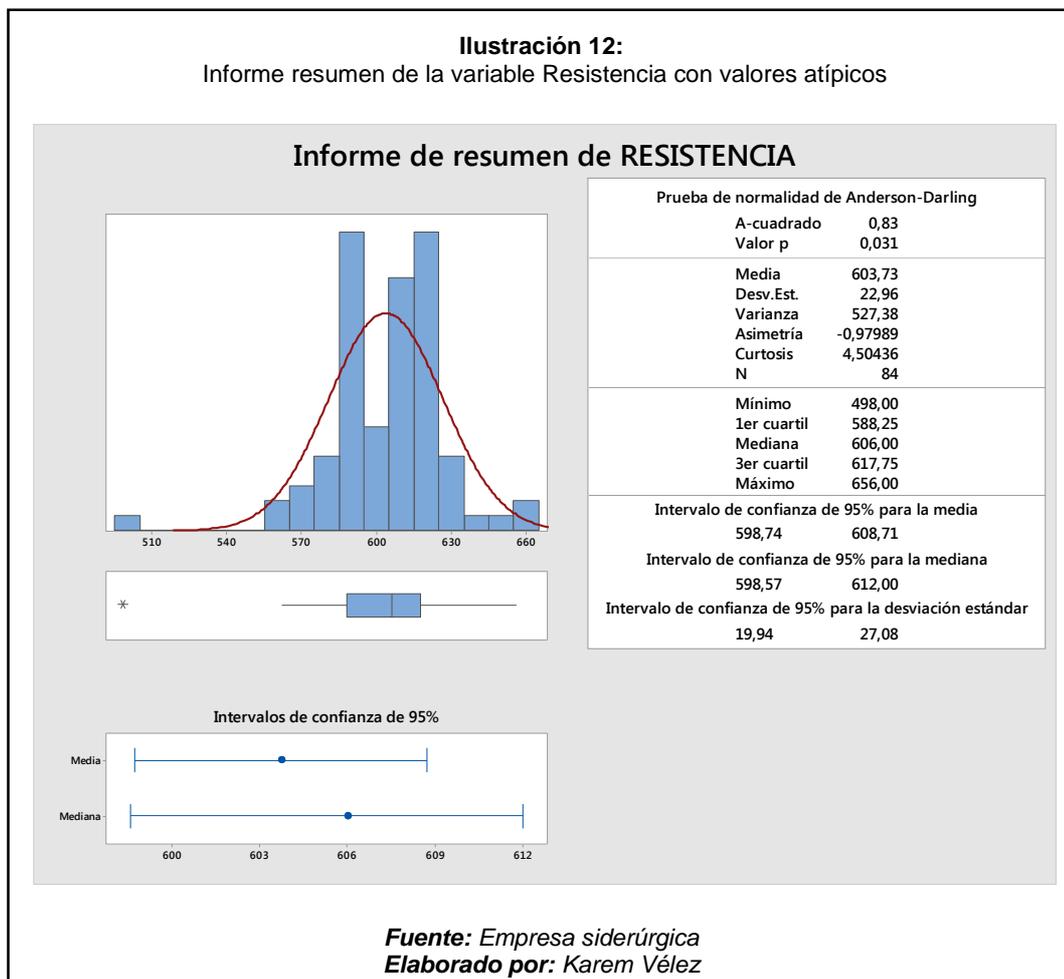
$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal.

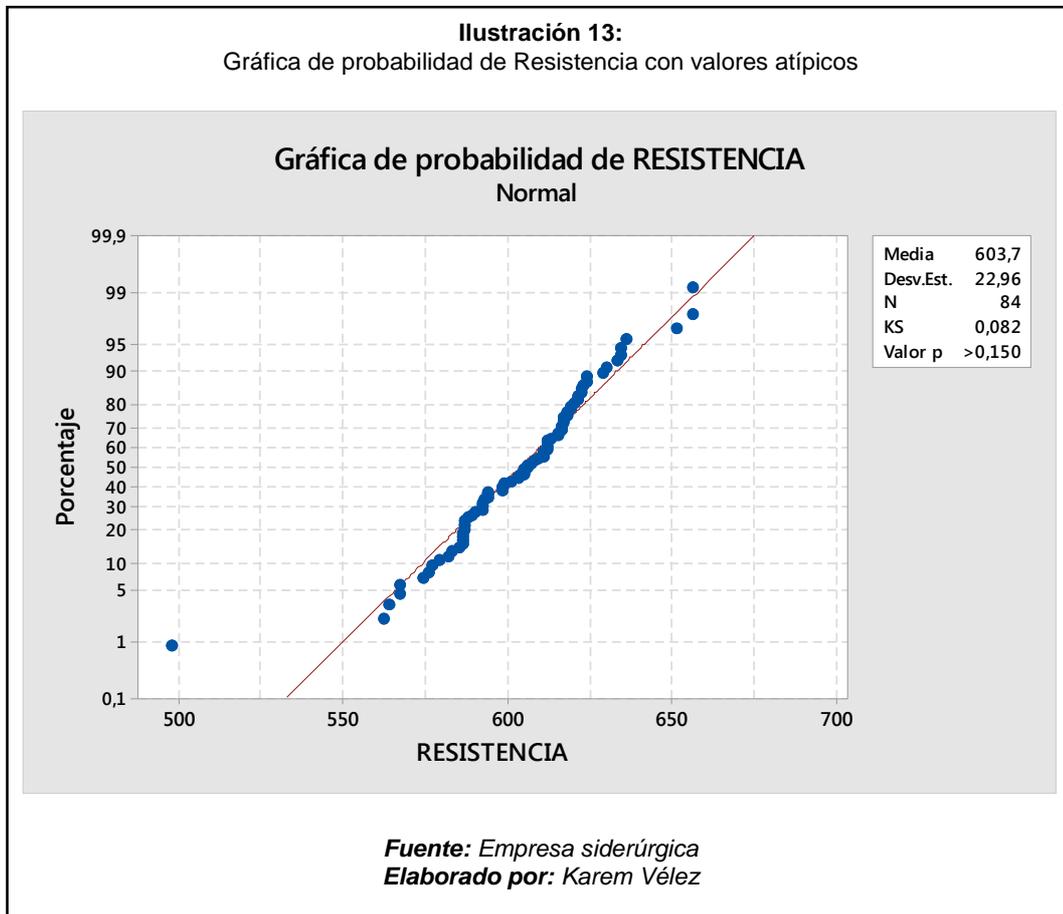
$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal.

*shapiro.test (datos\$MASA)*  
*Shapiro-Wilk normality test*  
*data: datos\$MASA*  
*W = 0.1568, p-value < 2.2e-16*

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos no están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

En la **Ilustración 12** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable “Resistencia” correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre 580 y 620, además se observa valores atípicos. El promedio de la variable fluencia es de 603.73, con una desviación estándar igual a 22.96, la resistencia máxima es de 656, el coeficiente de asimetría es negativo, lo cual indica que la distribución de los daos está sesgada a la derecha del observador.





Se observa en la **Ilustración 13** que la variable “Resistencia” no es normal, para comprobar la información realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no.

**Hipótesis:**

$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal.

*shapiro.test (datos\$RESISTENCIA)*

*Shapiro-Wilk normality test*

*data: datos\$RESISTENCIA*

*W = 0.93282, p-value = 0.0002841*

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos no están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

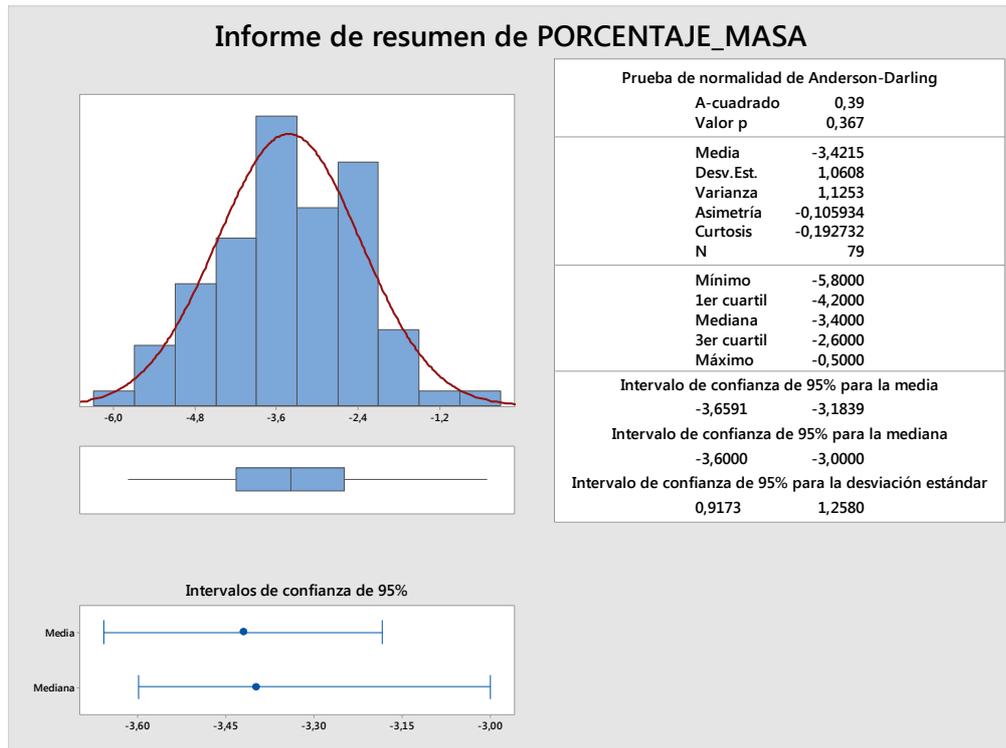
### **3.7. Análisis descriptivo de las variables sin valores atípicos**

Debido que las tres variables no cumplen la normalidad por datos atípicos que afectan a los datos se efectuarán la eliminación de las filas y nuevamente se realizara el análisis. Una vez realizada las correcciones correspondientes a los datos atípicos de la base de los datos, se procede a analizar 79 filas, es decir cinco filas menos de los datos originales y obtenemos lo siguiente:

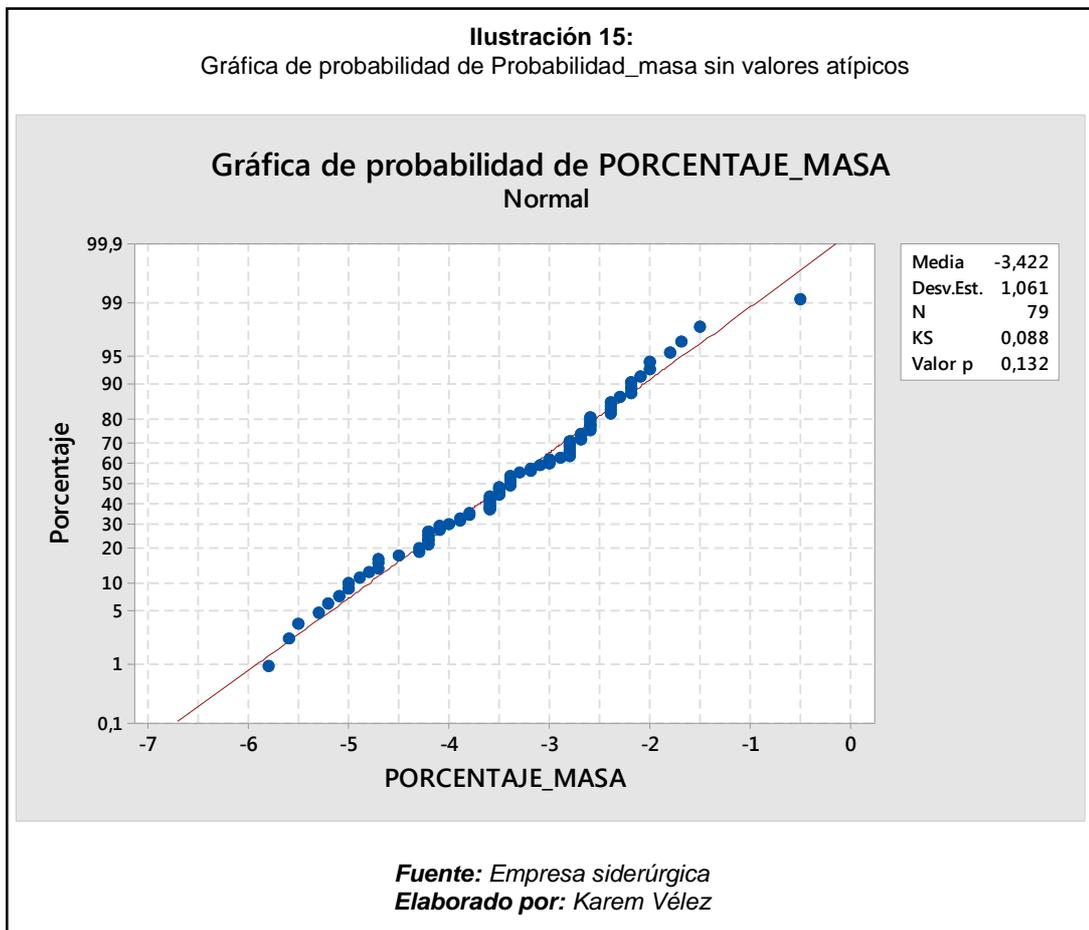
En la **Ilustración 14** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable “Porcentaje de masa” correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre -4.5 y -2.5. El promedio de la variable porcentaje de la masa es de -3.4215, con una desviación estándar igual a 1.0608, el porcentaje máximo de masa es de -0.5, el coeficiente de asimetría es negativo, lo cual indica que la distribución de los datos está sesgada a la derecha del observador.

**Ilustración 14**

: Informe resumen de la variable Porcentaje masa sin valores atípicos



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez



Se observa en la **Ilustración 15** que la variable “Probabilidad\_masa” es normal, para comprobar la información realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no.

**Hipótesis:**

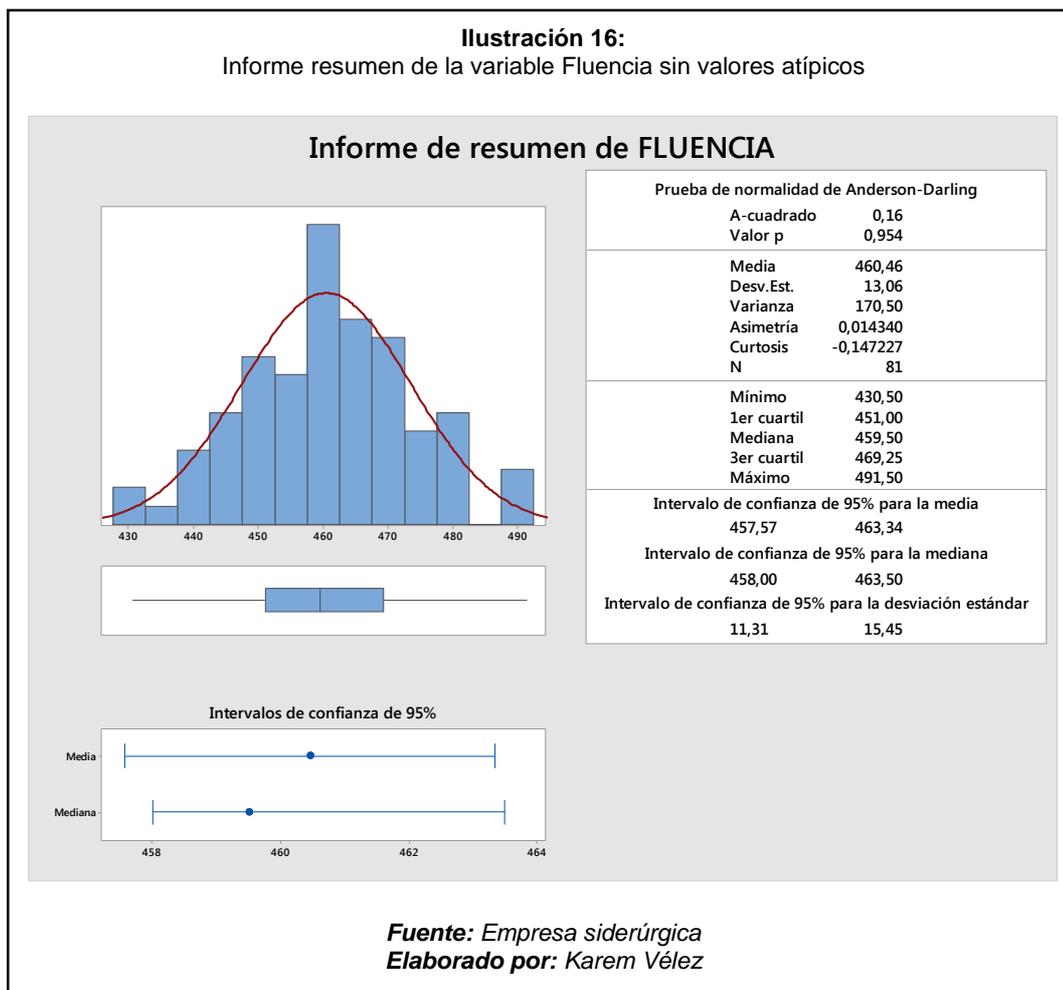
$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal

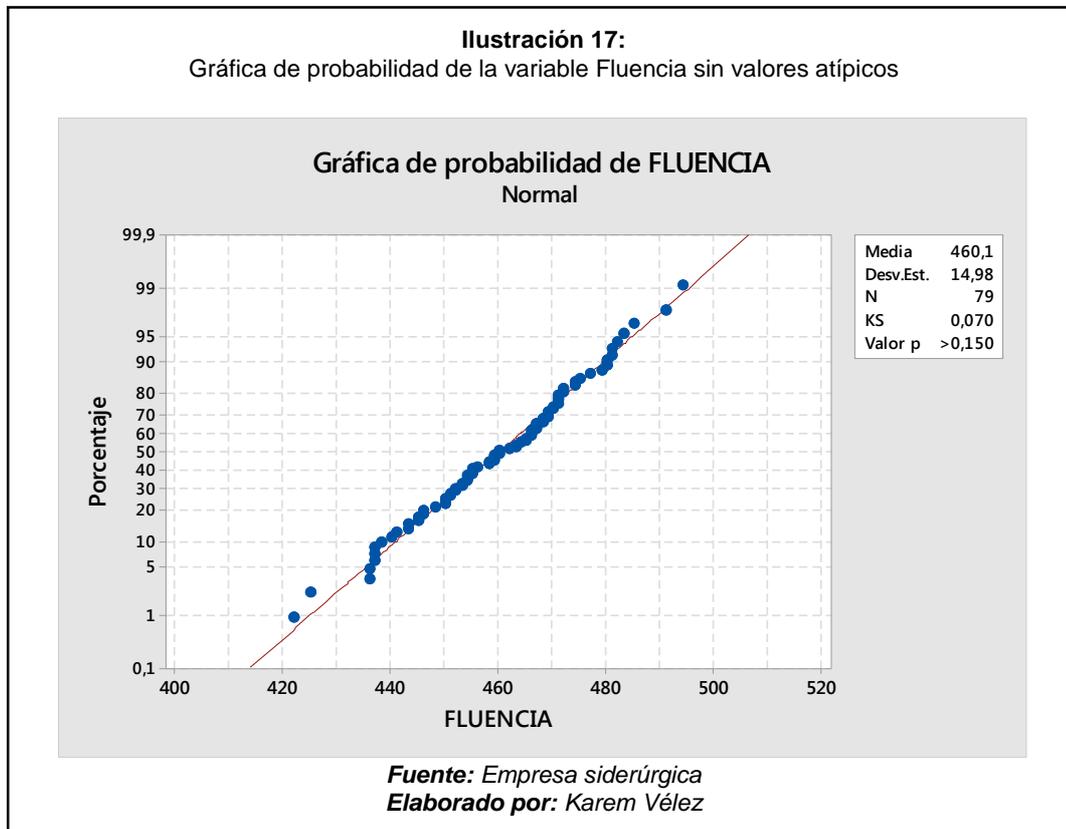
$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal

```
shapiro.test (datos$Porcentaje_Masa)  
Shapiro-Wilk normality test  
data: datos$Porcentaje_Masa  
W = 0.99222, p-value = 0.057
```

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

En la **Ilustración 16** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable “FLUENCIA” correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre 456 y 464. El promedio de la variable fluencia es de 460.14, con una desviación estándar igual a 14.98, la fluencia máxima es de 494, el coeficiente de asimetría es negativo, lo cual indica que la distribución de los datos está sesgada a la derecha del observador.





Se observa en la **Ilustración 17** que la variable “Fluencia” es normal, para comprobar la información realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no.

**Hipótesis:**

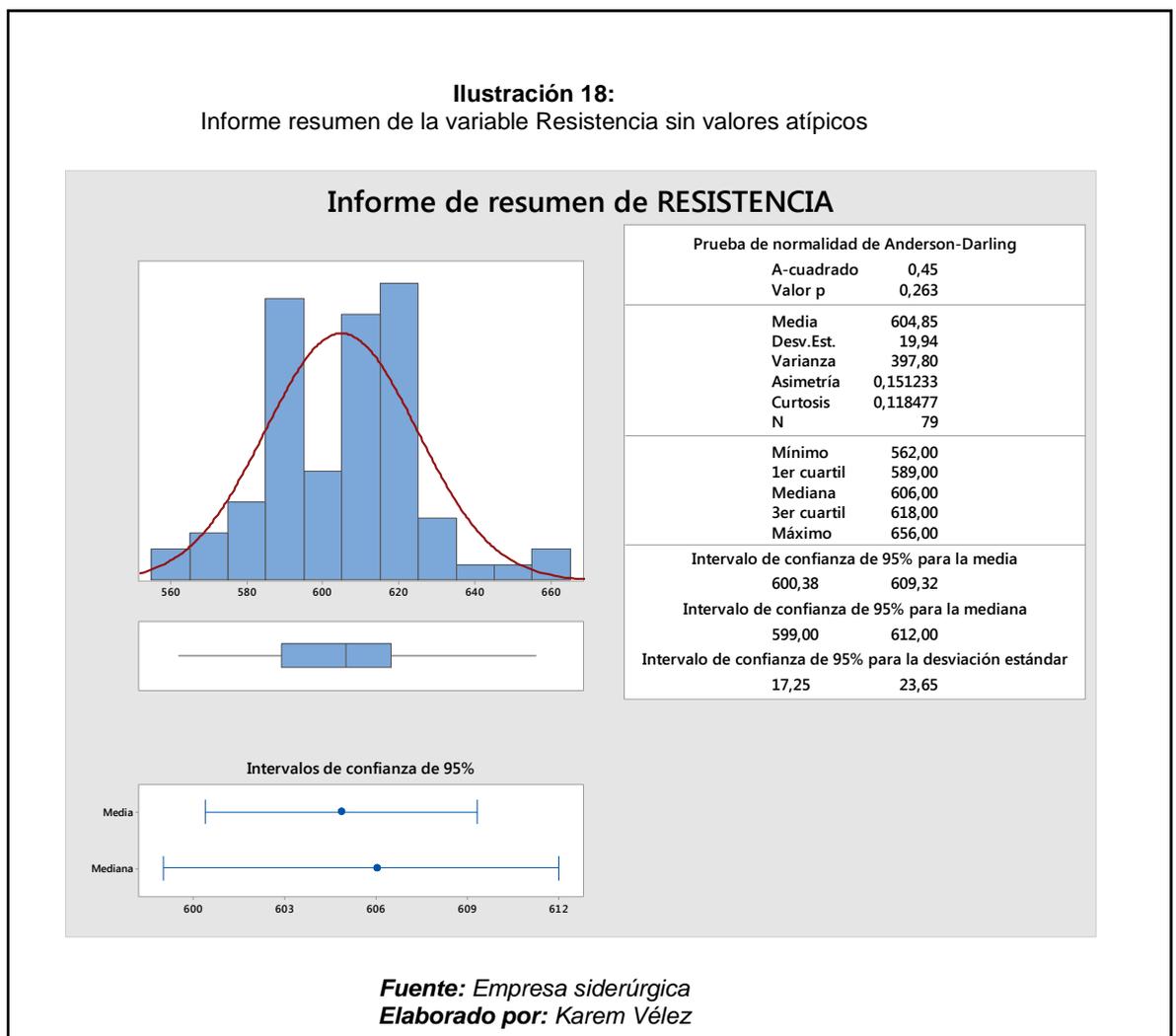
$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal

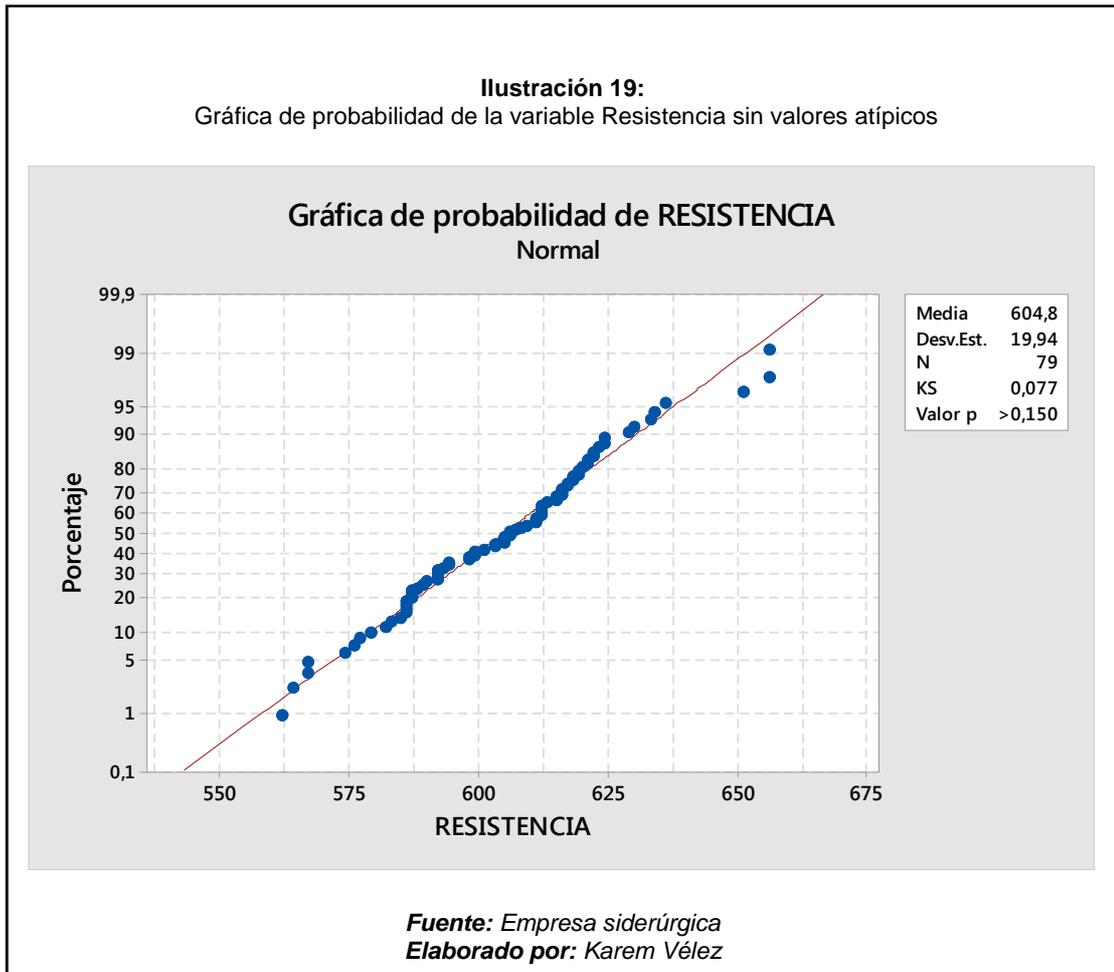
$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal

```
shapiro.test (datos$Fluencia)
Shapiro-Wilk normality test
data: datos$Fluencia
W = 0.9901, p-value = 0.8075
```

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

En la **Ilustración 18** se muestran un resumen, el cual consta de Estadísticas Descriptivas de la variable “Resistencia” correspondiente a enero del 2017, donde en el histograma de frecuencias como en el diagrama de cajas se aprecia la concentración de las observaciones se encuentran entre 585 y 620. El promedio de la variable fluencia es de 604.85, con una desviación estándar igual a 19.94, la resistencia máxima es de 656, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos está sesgada a la izquierda del observador.





Se observa en la **Ilustración 19** que la variable “Resistencia” es normal, para comprobar la información realiza el test de Shapiro-Wilk para determinar si la variable es normal o no, en el caso de cumplir de ser normal conjuntamente con las otras variables puede realizarse un gráfico multivariado y proceder a la construcción del modelo.

### Hipótesis:

$H_0$ : Los valores tienen una distribución normal

$H_1$ : Los valores no tienen una distribución normal

```
shapiro.test (datos$Resistencia)
Shapiro-Wilk normality test
data: datos$Resistencia
W = 0.98095, p-value = 0.2863
```

**ANÁLISIS:** Los puntos de los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

### **3.8. Análisis con cartas de control**

La información receptada para la realización del gráfico estadístico

un informe donde se compendia la cantidad de materia prima que fue utilizada, importe de producción óptima y mermas o perdidas que se han forjado en el proceso de laminación perteneciente al área de Control de Calidad, específicamente varillas de acero de 12 milímetros, en la cual una vez pesada el lote de la producción, se realiza el cierre del respectivo turno, la muestra corresponde al mes de enero del año 2017.

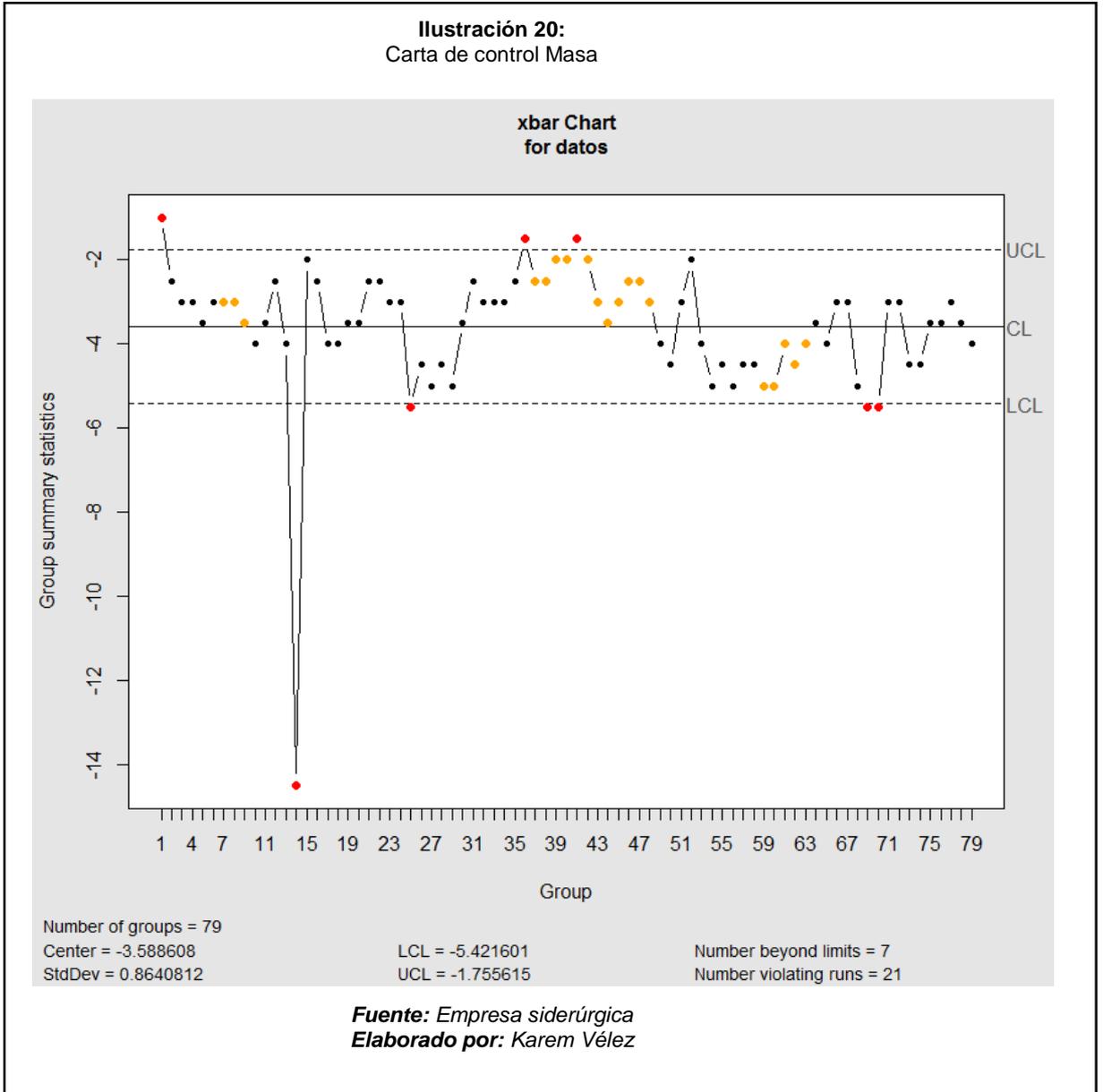
En el proceso de toma de muestras se realizan en dos tiempos: el primer ente se lo toma antes del tratamiento de presión de agua y aire comprimido y el otro al finalizar este proceso.

Se realiza la carta de control estadístico para las variable porcentaje de masa, fluencia y resistencia con los datos libres de valores atípicos, para lo cual determinaremos los puntos fuera de control, esto se lo realizará para hacer comparaciones entre lo que se obtiene en registros que la compañía y cuáles de ellos en realidad cumplen con la Norma INEN 2167.

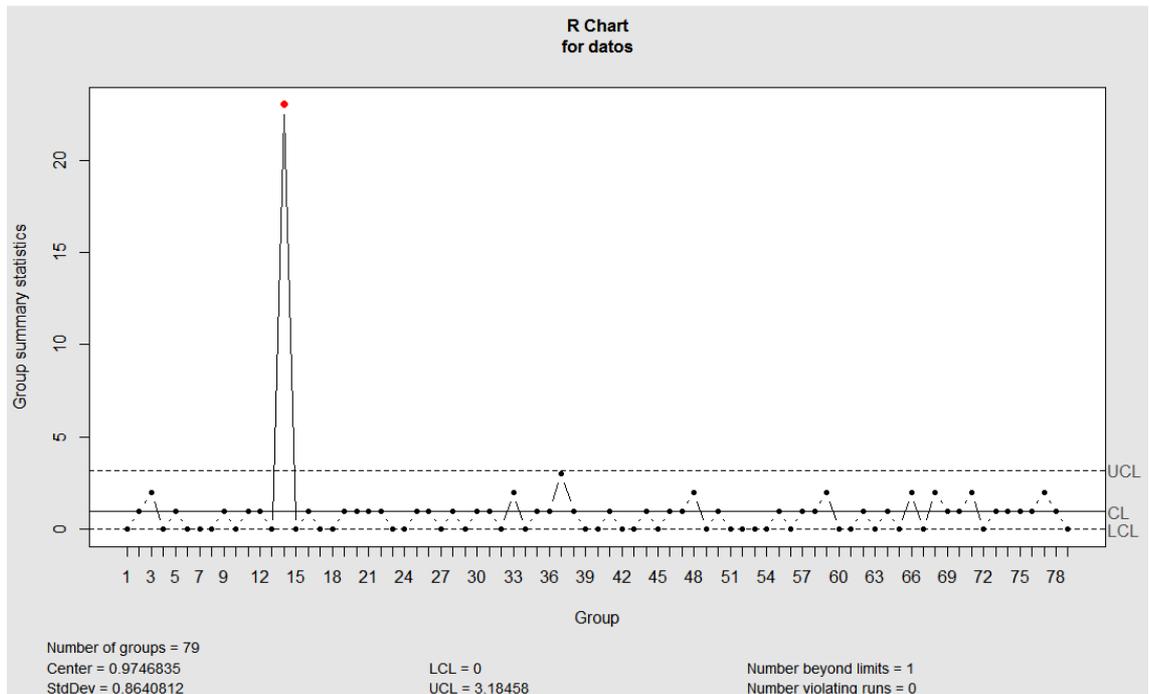
<b>Límite de fluencia, mínimo</b>	420
<b>Límite de fluencia, máximo</b>	540
<b>Resistencia a la tracción, mínima</b>	550
<b>Valores de la masa</b>	± 6%

*Fuente: NTE INEN 2167*

### PORCENTAJE DE MASA



**Ilustración 21:**  
Carta de control Masa carta de control R

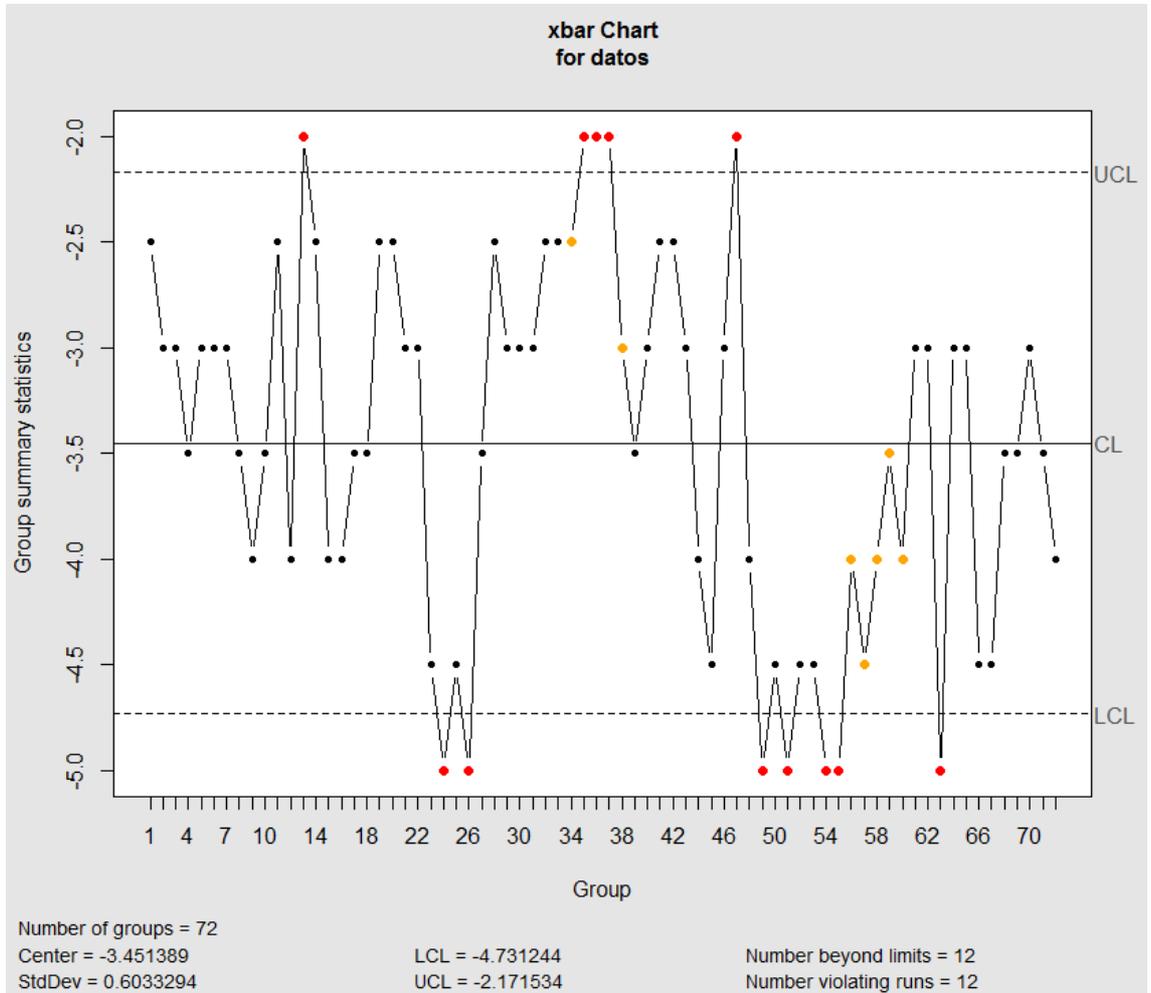


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Kareem Vélez

Observando la **Ilustración 20**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de -1.7556, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es -5.421601 se evidencia que durante la colada catorce hubo una caída significativa fuera de control, localizándose esta medición bajo el límite de control inferior LCI= -5,4216 .

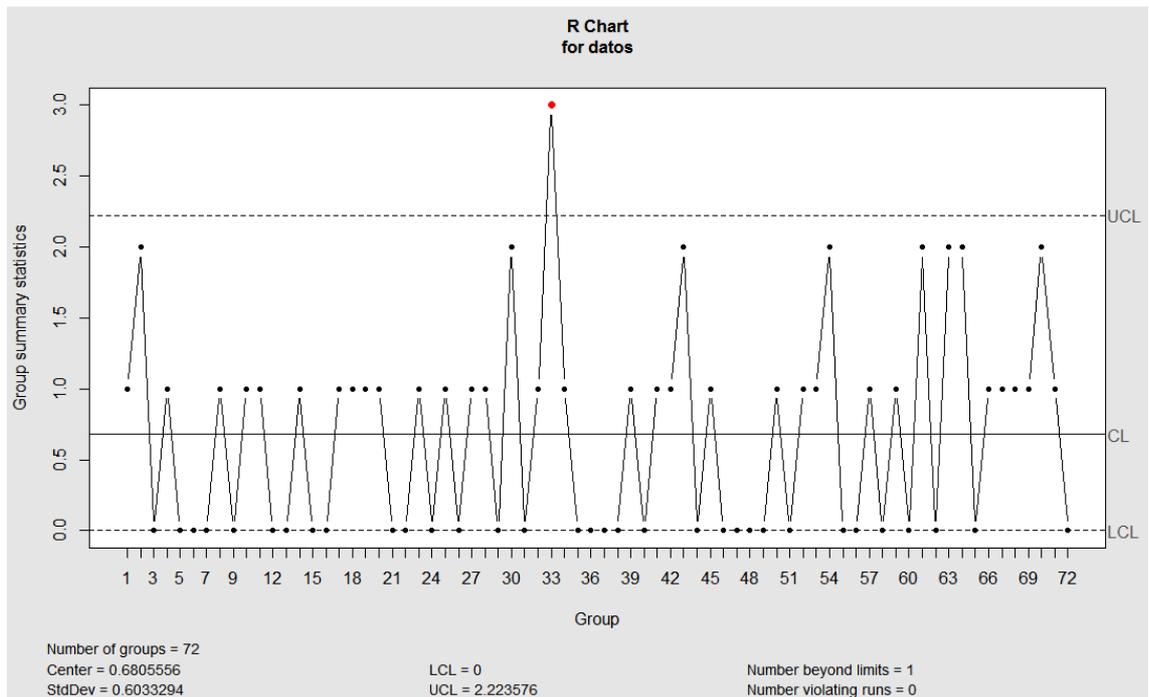
La **Ilustración 21**, se evidencia que existe una variabilidad poco usual en el punto catorce de la gráfica. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 1, 36, 41, 14, 25, 69 y 70.

Ilustración 22:  
Carta de control Masa 1



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 23:**  
Carta de control Masa carta de control R 1

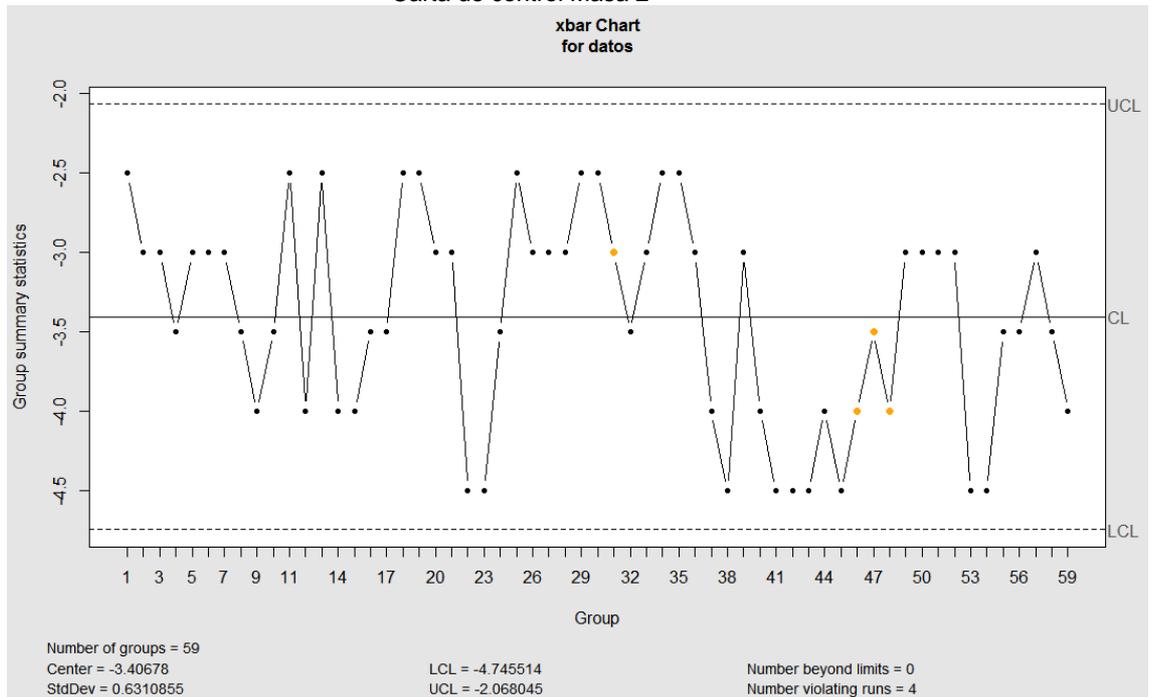


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 22**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de -2.1715, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es -4.7312.

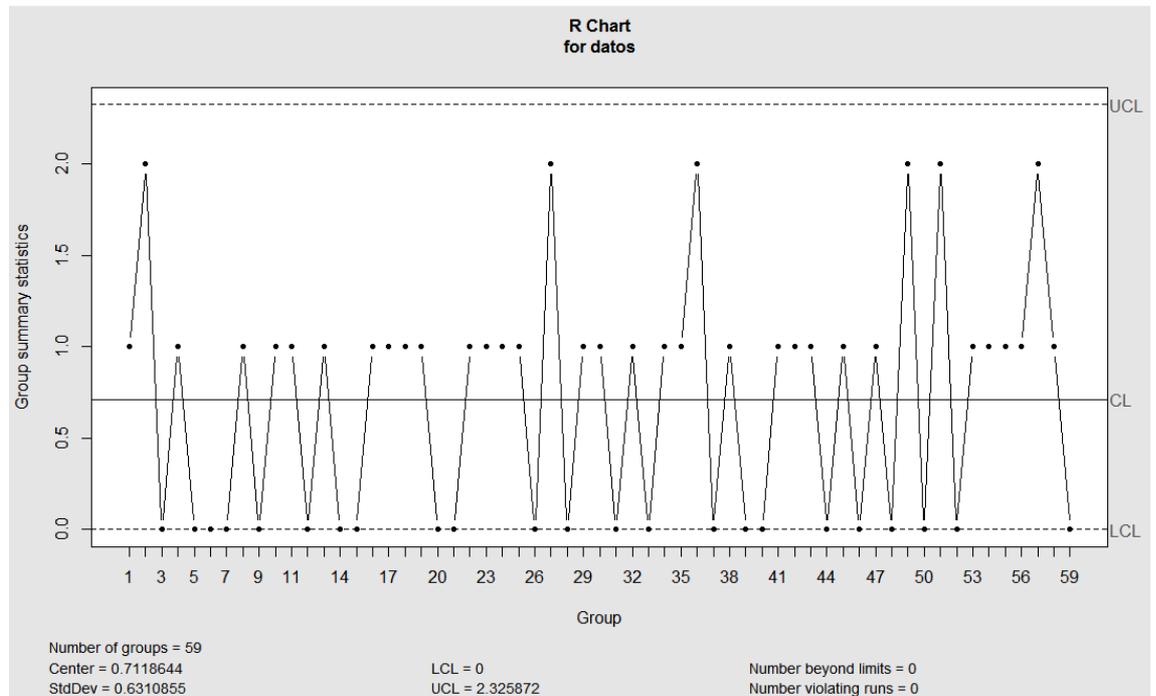
La **Ilustración 23**, se evidencia que existe una variabilidad poco inusual en el punto treinta y tres de la gráfica. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 13, 33, 35, 36, 37, 47, 24, 26, 49, 51, 54, 55 y 63.

**Ilustración 24:**  
Carta de control Masa 2



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

**Ilustración 25:**  
Carta de control Masa carta de control R 2



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 24**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de -2.0680, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es -4.7455, se determina que el proceso se encuentra bajo control, se determina que los puntos tienen un comportamiento de cambio en el promedio del proceso el cual la causa más probable es la poca atención en la inspección del proceso. Al igual que la **Ilustración 25**, se evidencia que la variabilidad se encuentra entre los límites.

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $\bar{x}$ .

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = -3.40678 + \frac{3}{1.128\sqrt{2}}0.7118644$$

$$UCL = -2.068045$$

$$CL = -3.40678$$

$$LCL = -3.40678 - \frac{3}{1.128\sqrt{2}}0.7118644$$

$$LCL = -4.745514$$

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $R$ .

$$UCL = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$LCL = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = 0.7118644 + 3(0.853) \frac{0.7118644}{1.128}$$

$$UCL = 2.325872$$

$$CL = 0.7118644$$

$$LCL = 0.7118644 - 3(0.853) \frac{0.7118644}{1.128}$$

$$LCL = 0$$

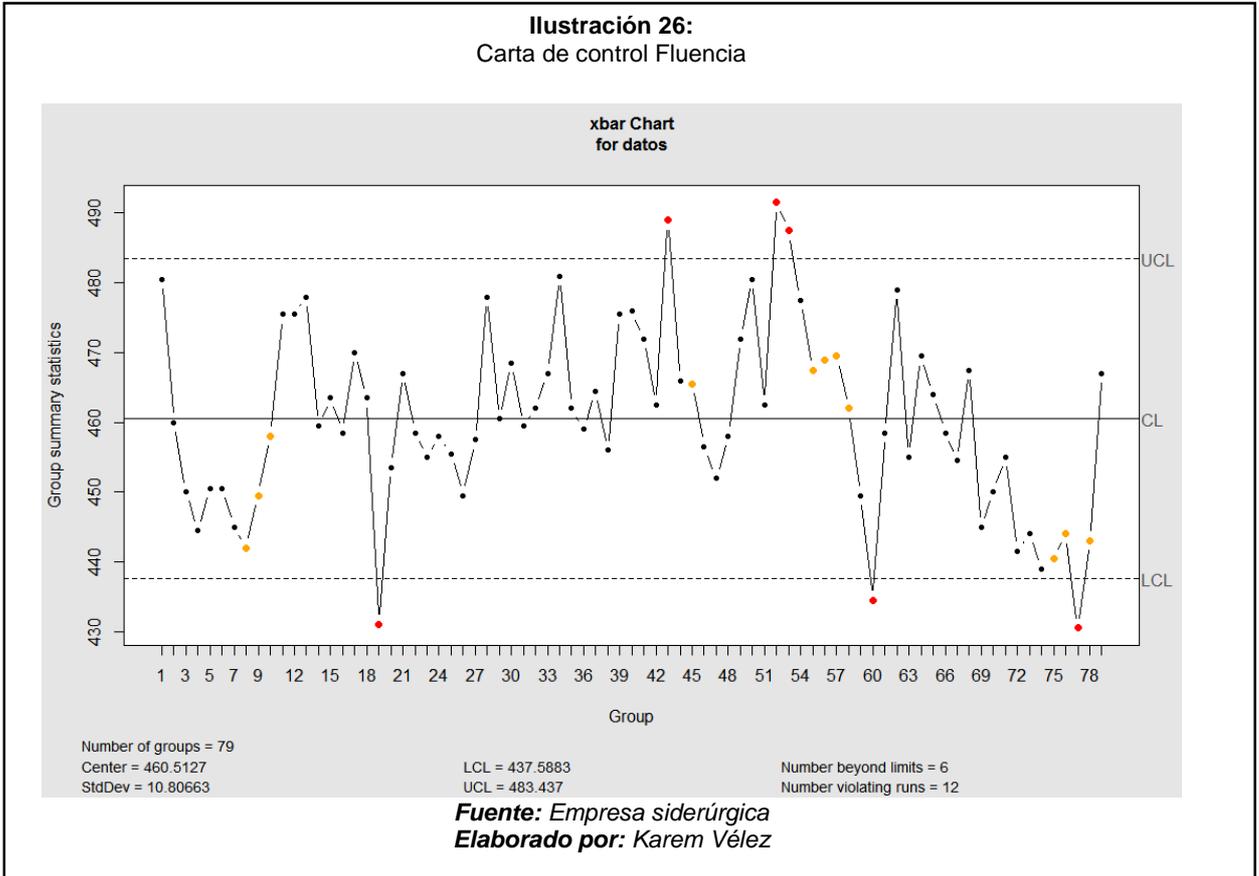
Capacidad del proceso es el siguiente

$$C_p = \frac{6 - (-6)}{6(0.6310855)}$$

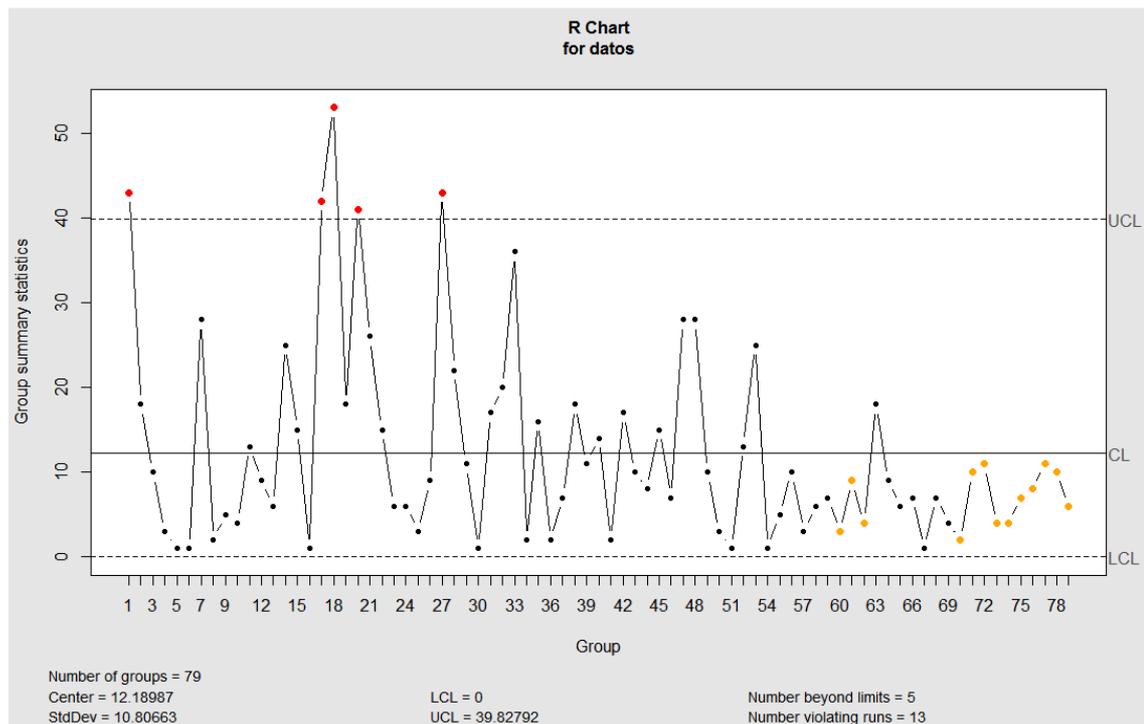
$$C_p = 3.169142$$

El valor es mayor a uno lo que indica que un número menor de disconformes el cual es menor al 0,3 % del total de la producción de enero.

### FLUENCIA



**Ilustración 27:**  
Carta de control Fluencia R

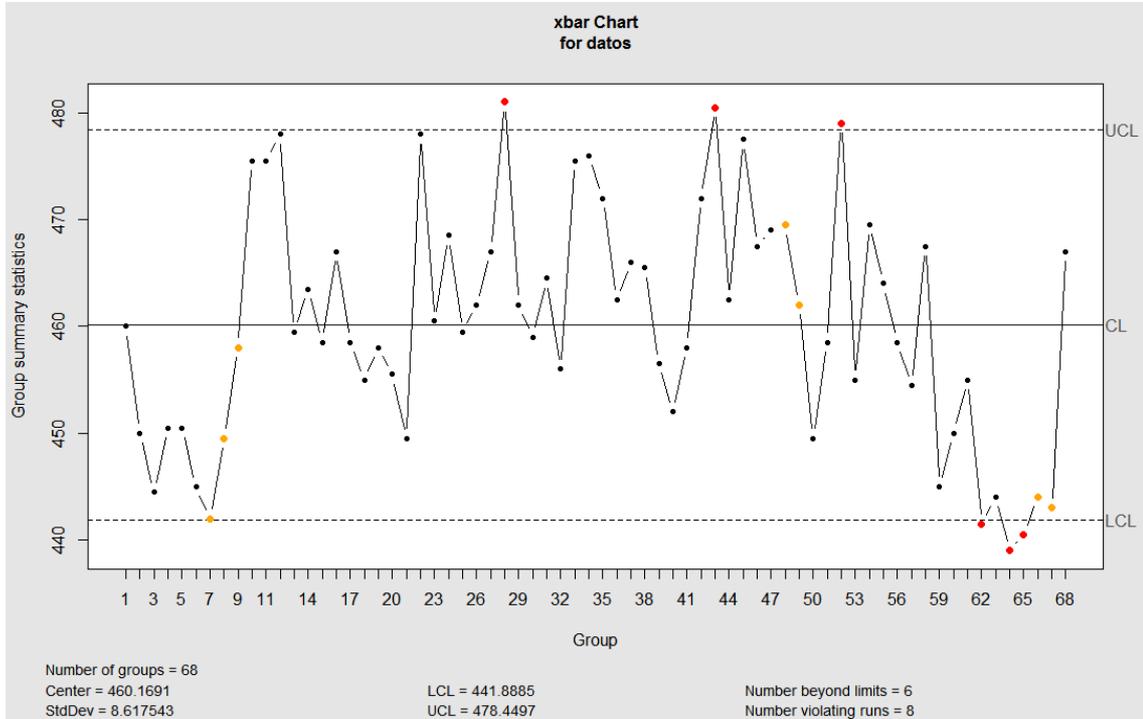


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 26**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 483.58, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 437.44.

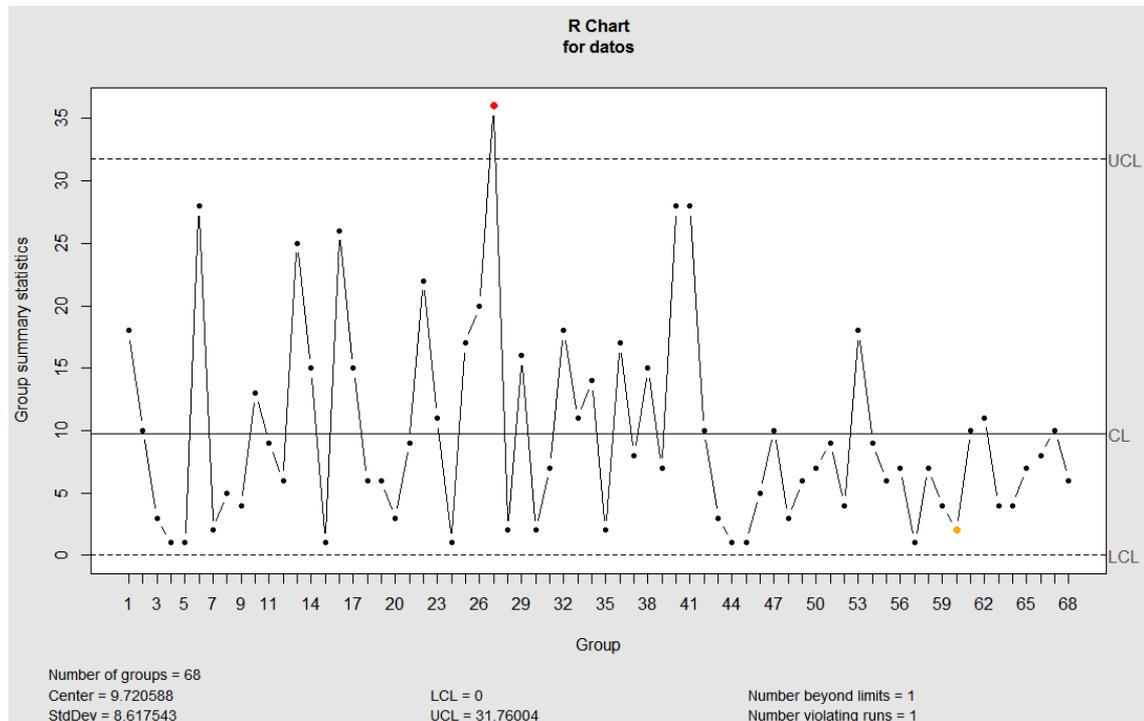
La **Ilustración 27**, se evidencia que existe mucha variabilidad e inclusive varios puntos fuera de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 1, 17, 18, 19, 20, 27, 43, 52, 53, 60 y 77

Ilustración 28:  
Carta de control Fluencia 1



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 29:**  
Carta de control Fluencia R 1

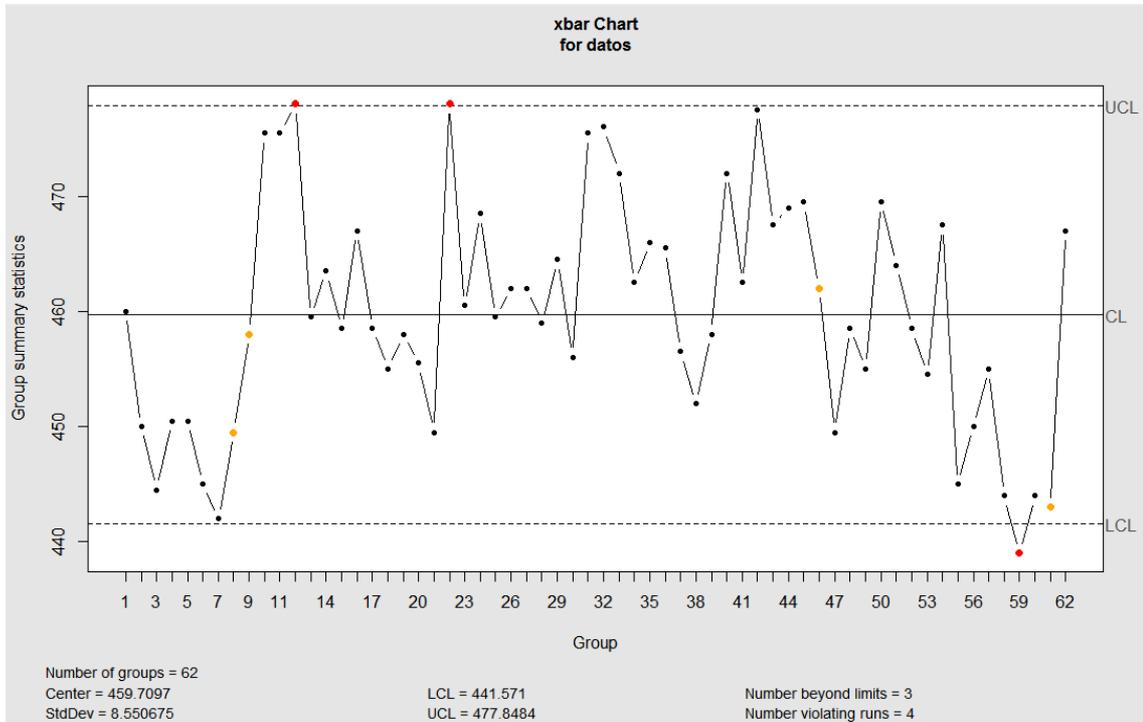


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 28**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 476.45, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 441.88.

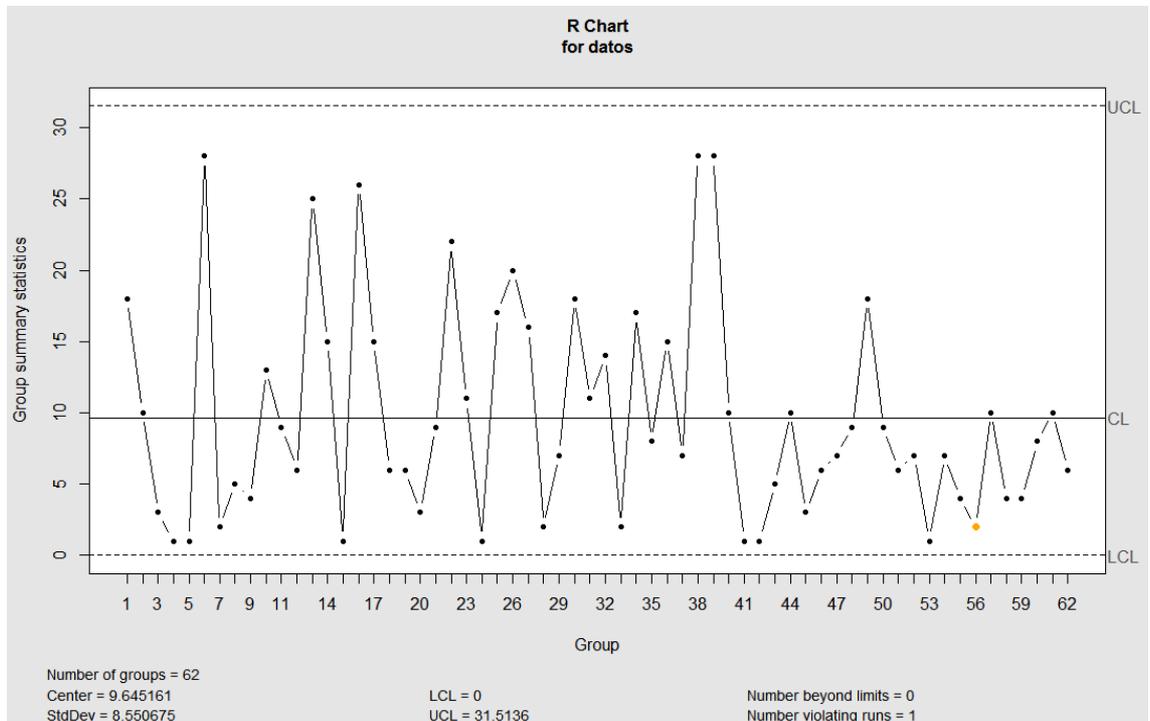
La **Ilustración 29**, se evidencia que existe un punto fuera de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 27, 28, 43, 52, 62, 64 y 65.

**Ilustración 30:**  
Carta de control Fluencia 2



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

**Ilustración 31:**  
Carta de control Fluencia R 2

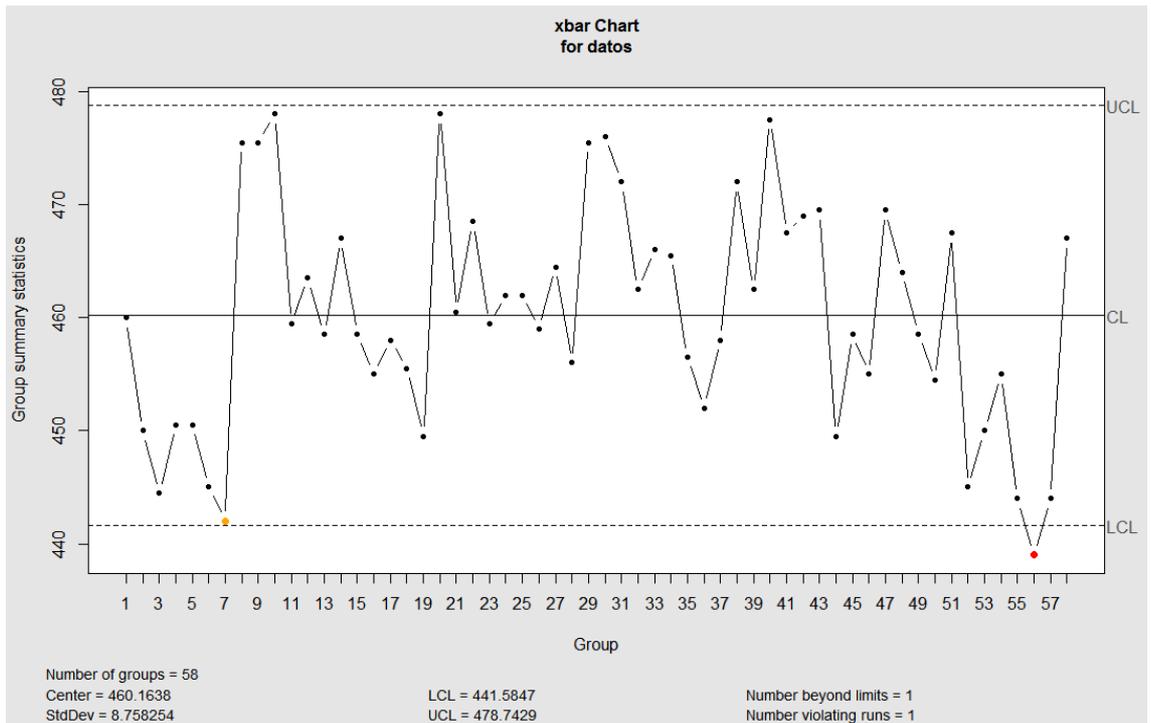


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 30**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 476.45, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 441.88, puede observarse un comportamiento de puntos consecutivos que se encuentran a un lado del límite central, la causa posible respecto a los métodos de inspección realizados en esos días.

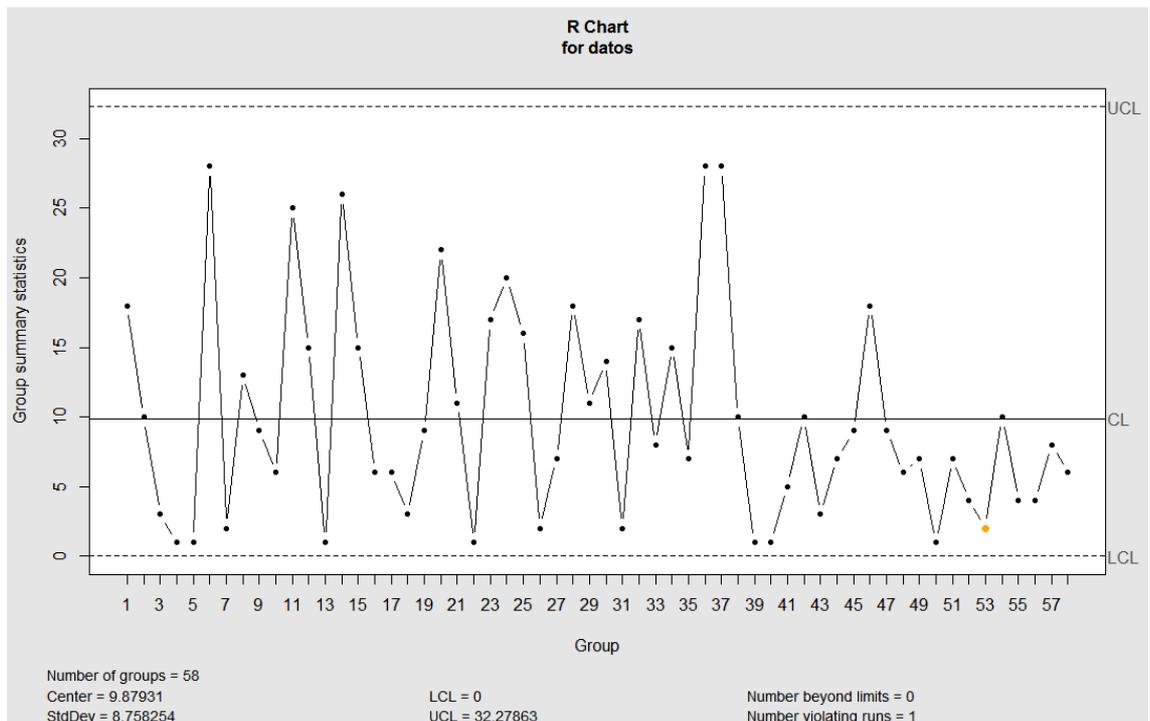
La **Ilustración 31**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual se encuentra en los límites de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 46, 8, 9 y 61.

Ilustración 32:  
Carta de control Fluencia 3



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 33:**  
Carta de control Fluencia R 3

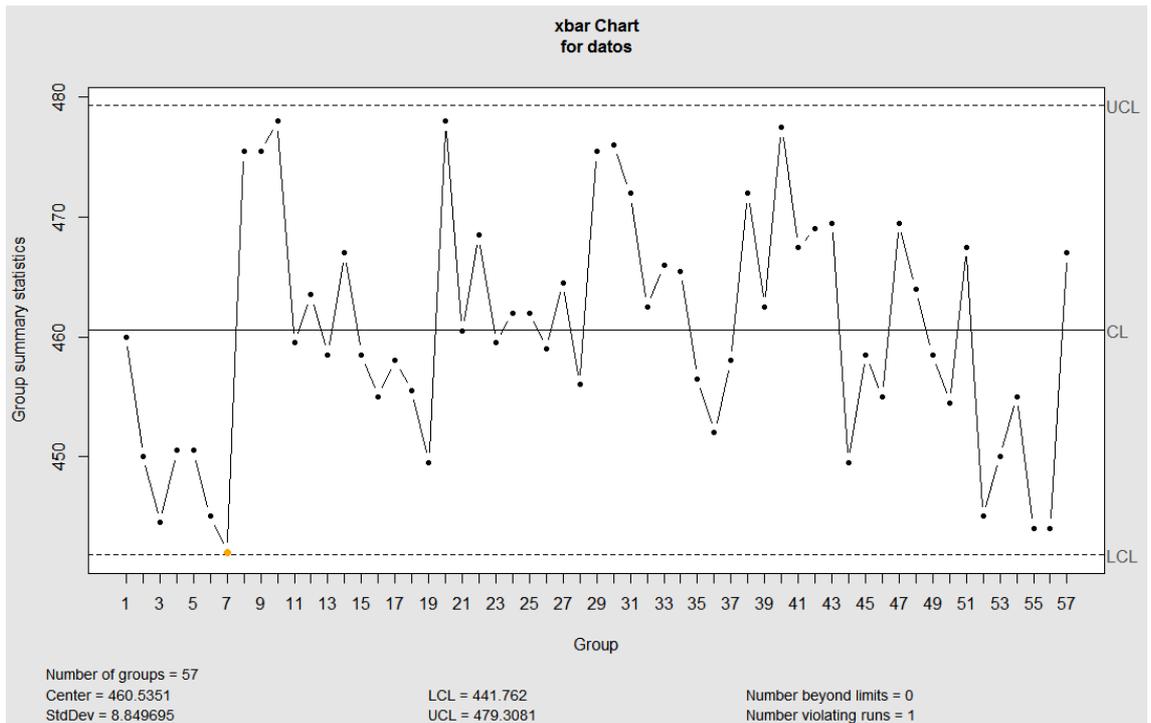


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 32**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 476.74, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 441.58, puede observarse un comportamiento de un solo punto fuera del límite inferior en el cual es probable un error de digitación al momento de ingresar los datos.

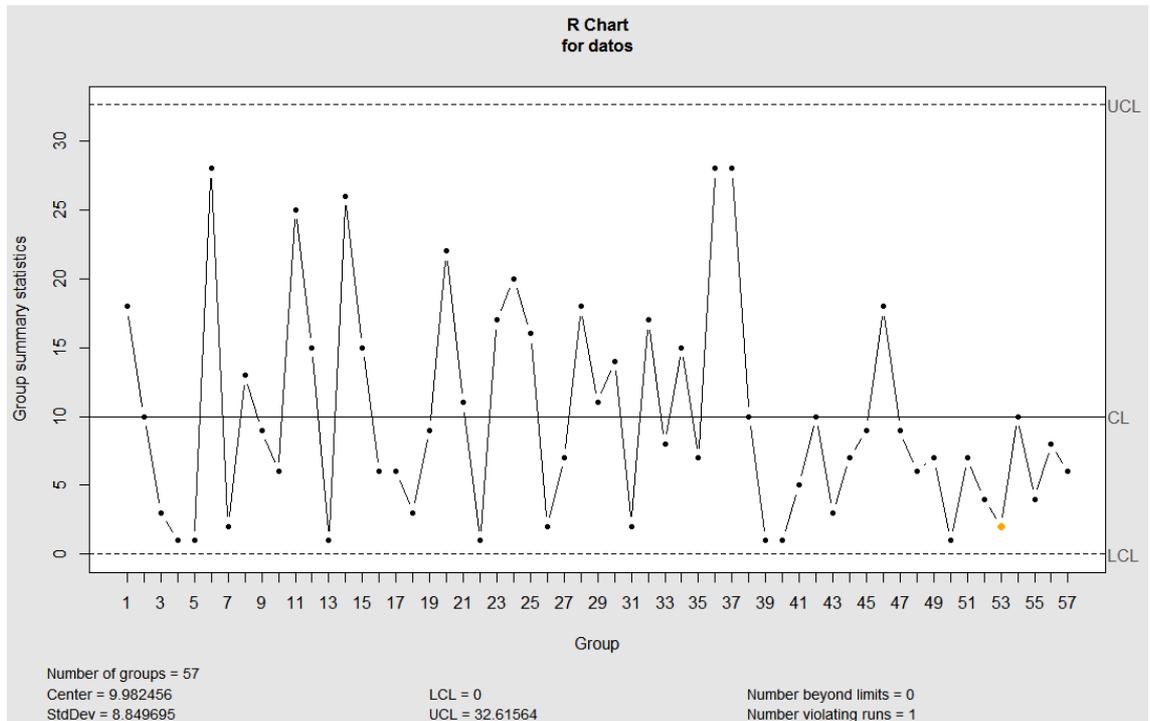
La **Ilustración 33**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual se encuentra en los límites de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 56.

Ilustración 34:  
Carta de control Fluencia 4



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 35:**  
Carta de control Fluencia R 4



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 34**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 479.30, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 441.76, se determina que el proceso se encuentra bajo control, se determina que la gráfica tiene un patrón cíclico, la causa más probable puede deberse a la rotación de los operarios o a la fatiga del turno. Al igual que la **Ilustración 35**, se evidencia que la variabilidad se encuentra entre los límites.

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $\bar{x}$ .

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = 460.5351 + \frac{3}{1.128\sqrt{2}}9.982456$$

$$UCL = 479.3081$$

$$CL = 460.5351$$

$$LCL = 460.5351 - \frac{3}{1.128\sqrt{2}}9.982456$$

$$LCL = 441.762$$

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $R$ .

$$UCL = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$LCL = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = 9.982456 + 3 (0.853) \frac{9.982456}{1.128}$$

$$UCL = 32.61564$$

$$CL = 9.982456$$

$$LCL = 9.982456 - 3 (0.853) \frac{9.982456}{1.128}$$

$$LCL = 0$$

Capacidad del proceso es el siguiente

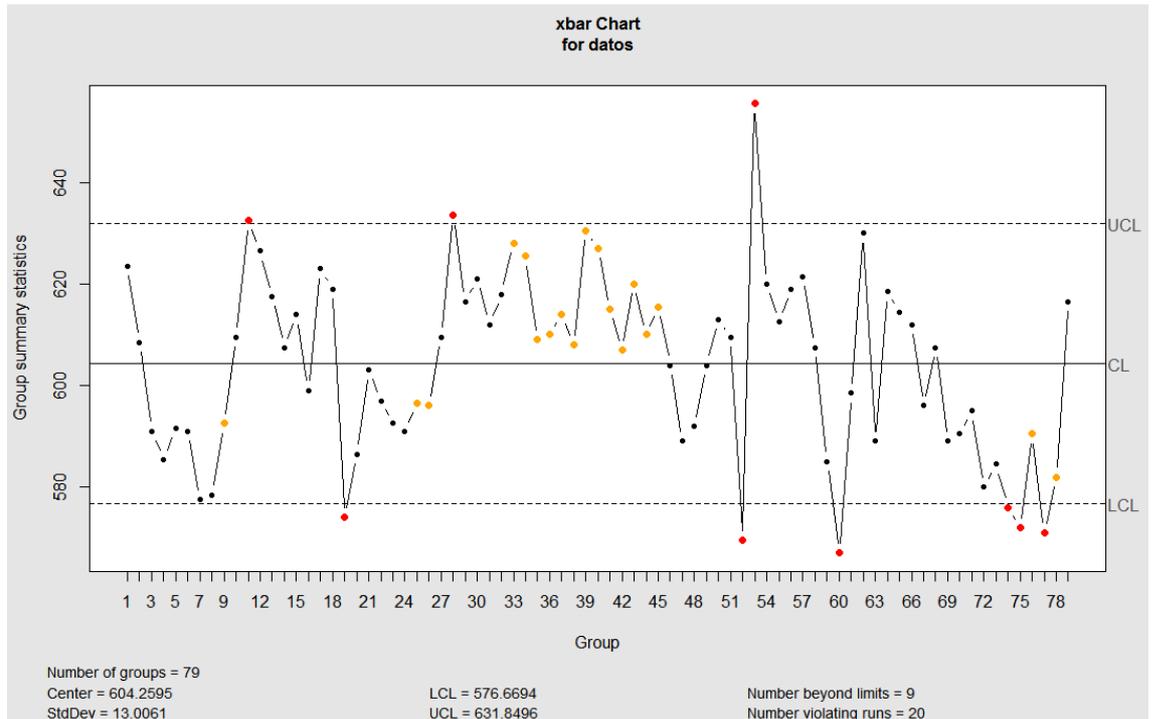
$$C_p = \frac{540 - 420}{6(8.849695)}$$

$$C_p = 2.259964$$

El valor es mayor a uno lo que indica que un número menor de disconformes el cual es menor al 0,3 % del total de la producción de enero.

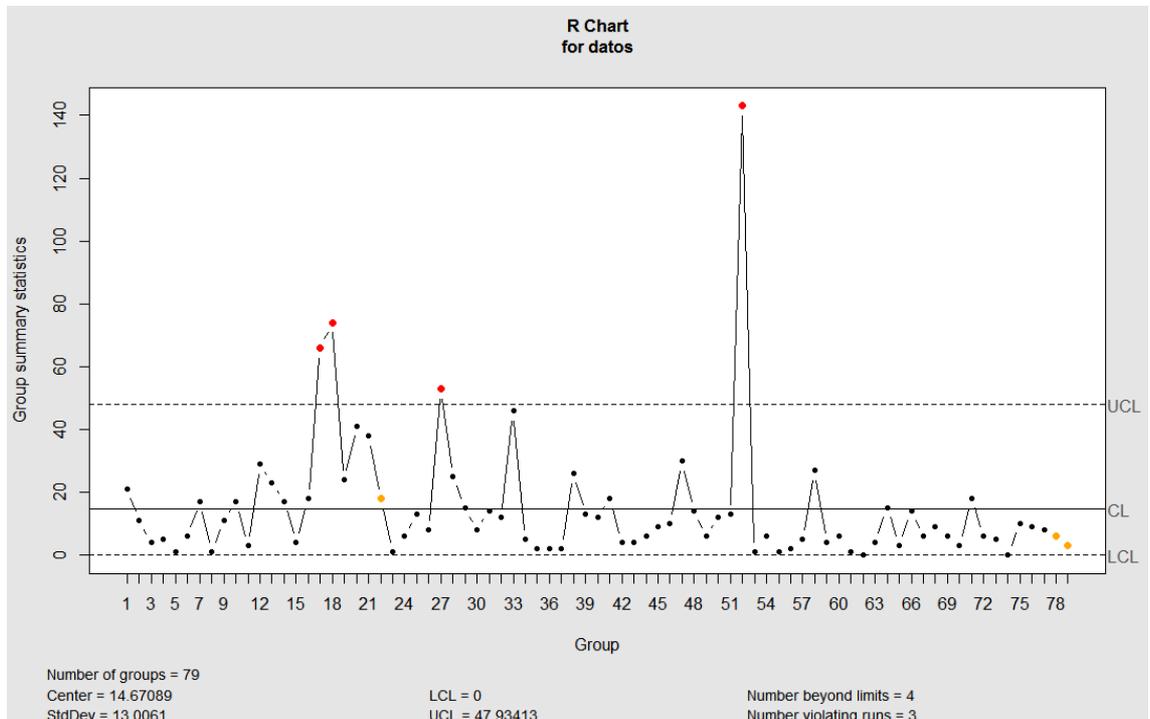
### Resistencia

Ilustración 36:  
Carta de control Resistencia



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 37:**  
Carta de control Resistencia R

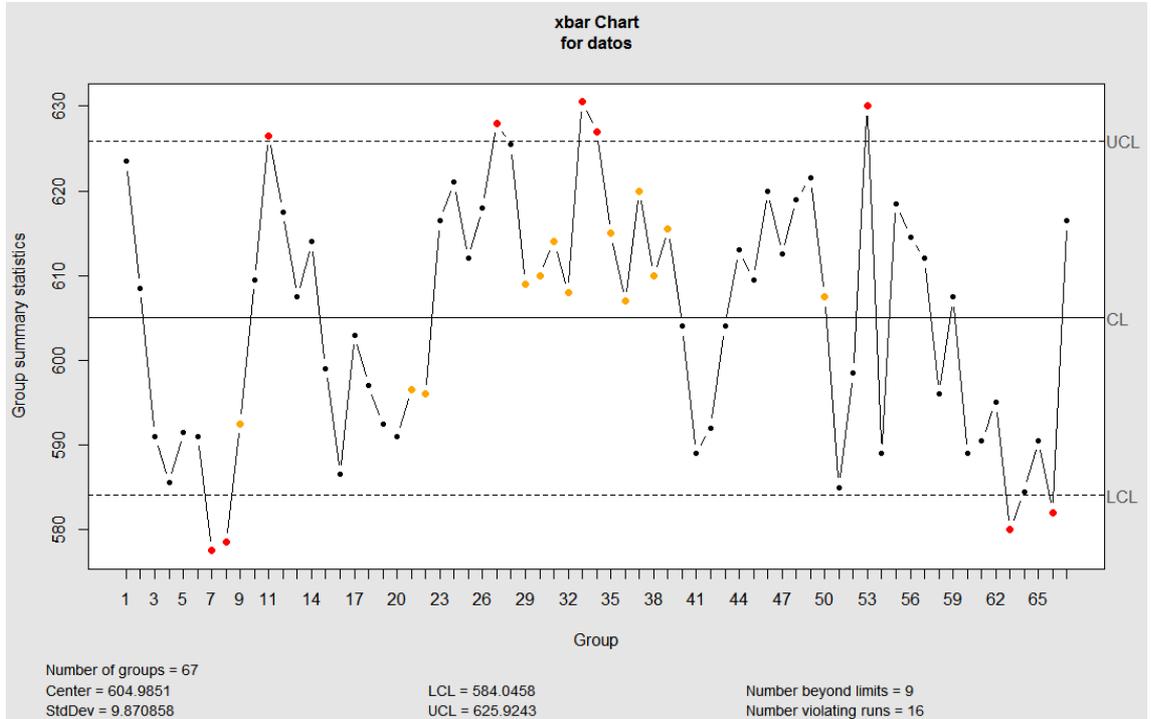


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 36**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 631.81, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 576.67.

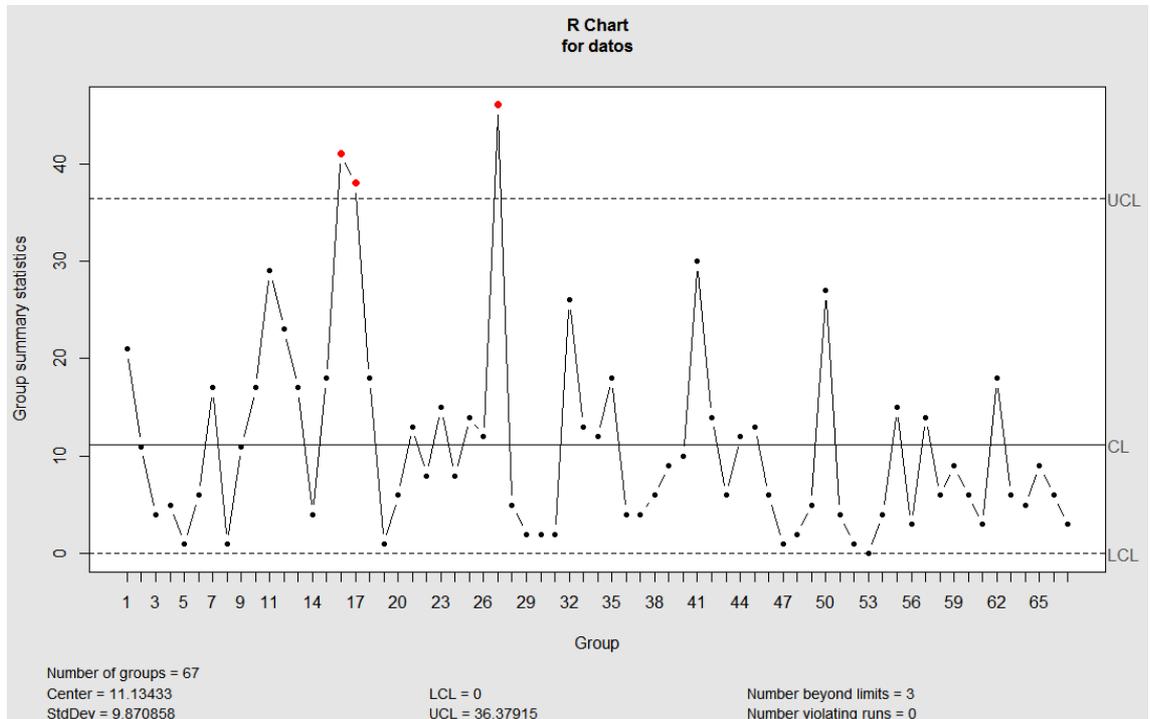
La **Ilustración 37**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual no se encuentra en los límites de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 11, 17, 18, 19, 27, 28, 52, 53, 60, 74, 75 y 77.

Ilustración 38:  
Carta de control Resistencia 1



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

Ilustración 39:  
Carta de control Resistencia R 1

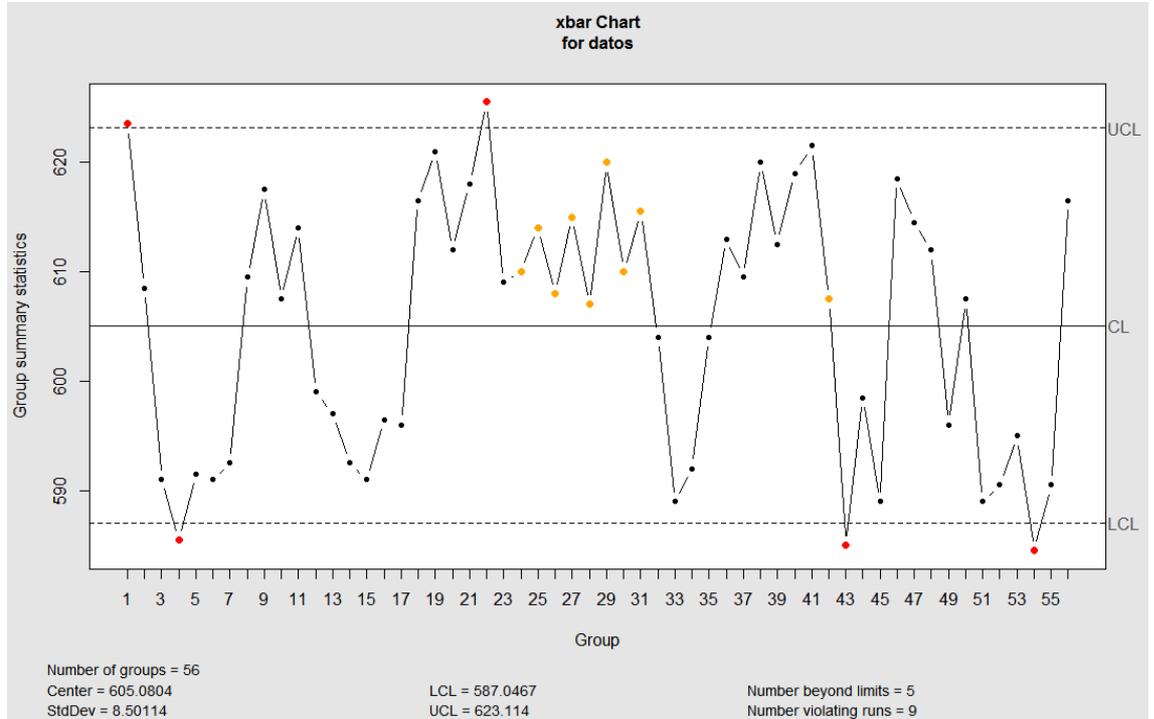


Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

Observando la **Ilustración 38**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 625.42, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 584.05.

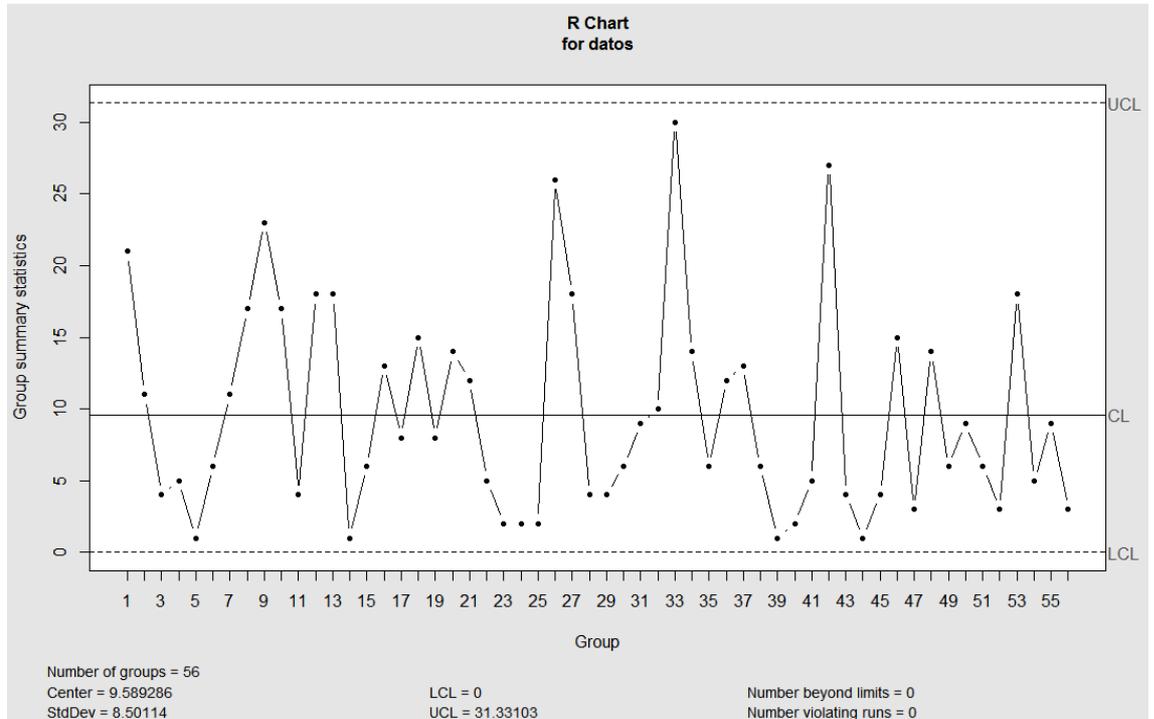
La **Ilustración 39**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual no se encuentra en los límites de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 7, 8, 11, 16, 17, 27, 33, 34, 53, 63 y 66.

Ilustración 40:  
Carta de control Resistencia 2



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 41:**  
Carta de control Resistencia R 2

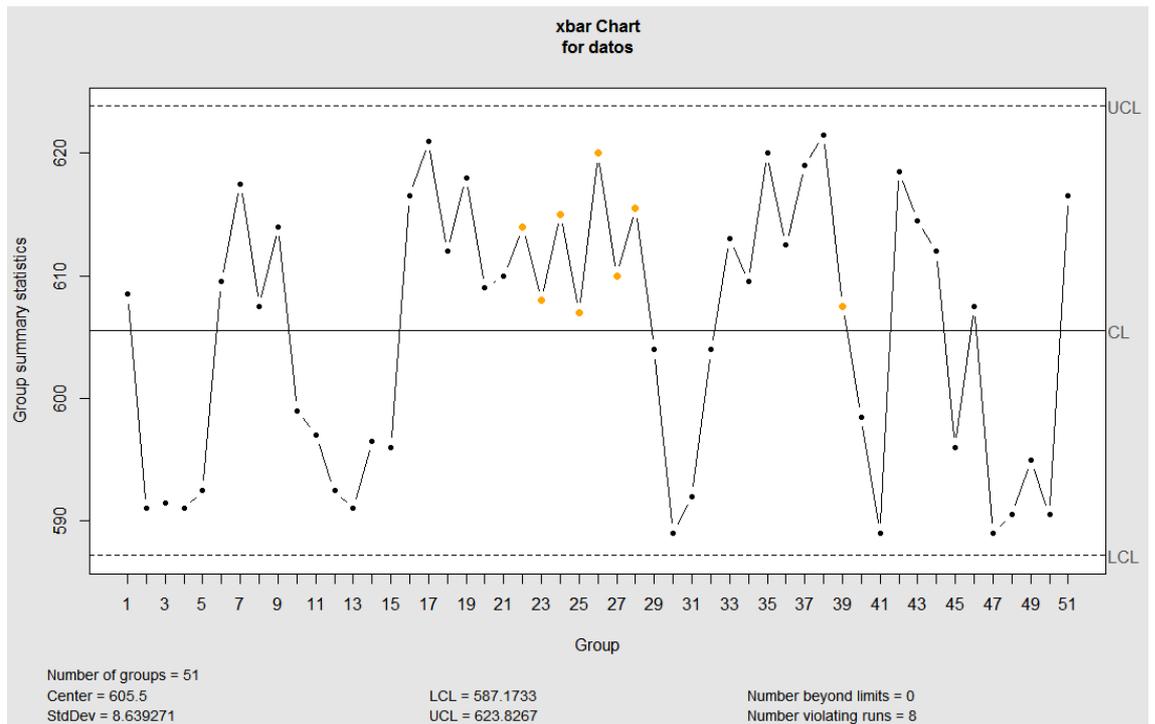


**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 40**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 623.11, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 587.046.

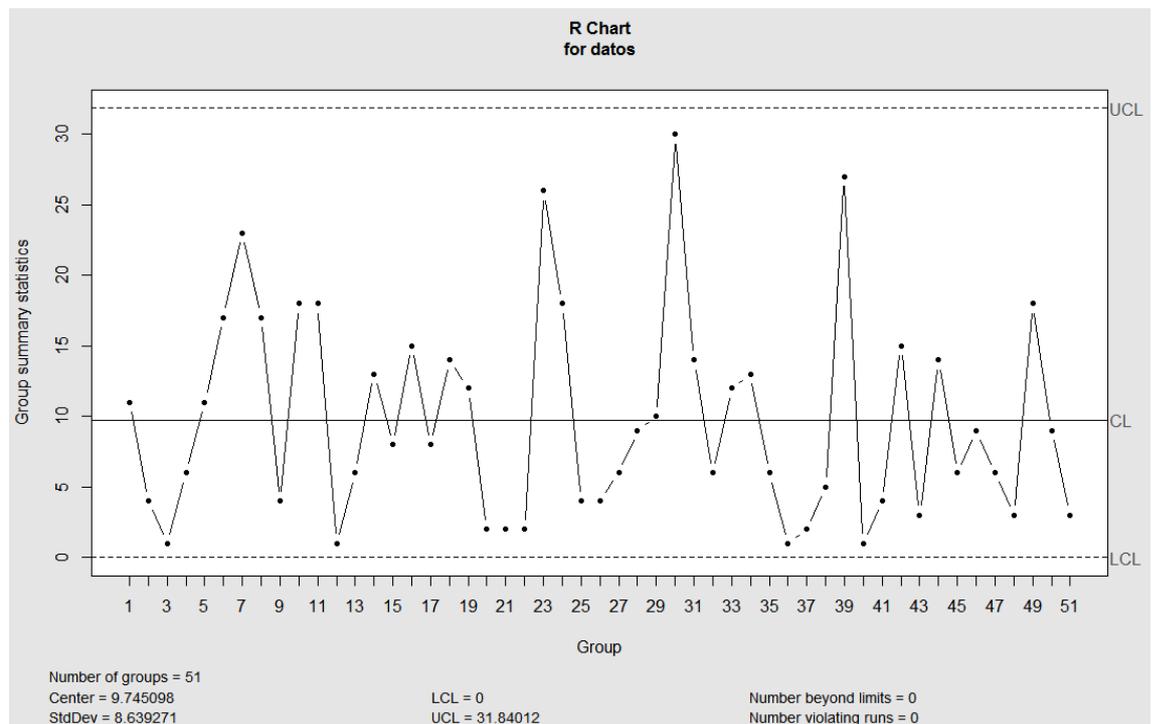
La **Ilustración 41**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual se encuentra en los límites de control. Se realiza la eliminación de las filas fuera de control 1, 4, 22, 43 y 54.

Ilustración 42:  
Carta de control Resistencia 3



Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez

**Ilustración 43:**  
Carta de control Resistencia R 3



**Fuente:** Empresa siderúrgica  
**Elaborado por:** Karem Vélez

Observando la **Ilustración 42**, La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) en este caso es de 623.83, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 587.17, puede observarse que los puntos se encuentran dentro de los límites de control. Además, la gráfica tiene un comportamiento cíclico, la causa más probable de los altibajos sea la rotación de los operarios o la fatiga al final de su turno, otra razón es el uso de diferentes equipos de medición utilizados.

La **Ilustración 43**, se evidencia la variabilidad del proceso, la cual se encuentra en los límites de control.

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $\bar{x}$ .

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$CL = \bar{x}$$

$$LCL = \bar{x} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = 605.5 + \frac{3}{1.128\sqrt{2}} 9.745098$$

$$UCL = 623.83$$

$$CL = 605.5$$

$$LCL = 605.5 - \frac{3}{1.128\sqrt{2}} 9.745098$$

$$LCL = 587.17$$

Con los puntos que se encuentran bajo control se determina los nuevos límites de la gráfica para la carta de control  $R$ .

$$UCL = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$LCL = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Calculo de los límites de control

$$UCL = 9.745098 + 3 \cdot 0.853 \frac{9.745098}{1.128}$$

$$UCL = 31.8440.12$$

$$CL = 9.745098$$

$$LCL = 9.745098 - 3 \cdot 0.853 \frac{9.745098}{1.128}$$

$$LCL = 0$$

Capacidad del proceso es el siguiente

$$C_{pi} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{pi} = \frac{604.26 - 550}{3(8.689271)}$$

$$C_{pi} = 2.081494$$

El valor es mayor a uno lo que indica que un número menor de disconformes es menor al 0,3 % del total de la producción de enero.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. Mejora del proceso de laminación en caliente.**

#### **4.1. Descripción del proceso de laminación en caliente**

Según (Rodríguez Parrales & Cueva Rodríguez, 2016) el proceso consiste en pasar la palanquilla en un tren formado por 21 cajas laminadores y consta de tres partes:

Tren desbaste hechas por las 5 cajas laminadoras donde la palanquilla toma forma, en su salida de la caja laminadora existe una cizalla encargada de cortar del inicio y fin la palanquilla esto se lo nombra despunte en caliente lo cual es situado en tanques.

Tren intermedio formado desde la caja 6 a la 11 las cuales reducen a un menor diámetro la sección de la palanquilla a 25 milímetros. (Rodríguez Parrales & Cueva Rodríguez, 2016)

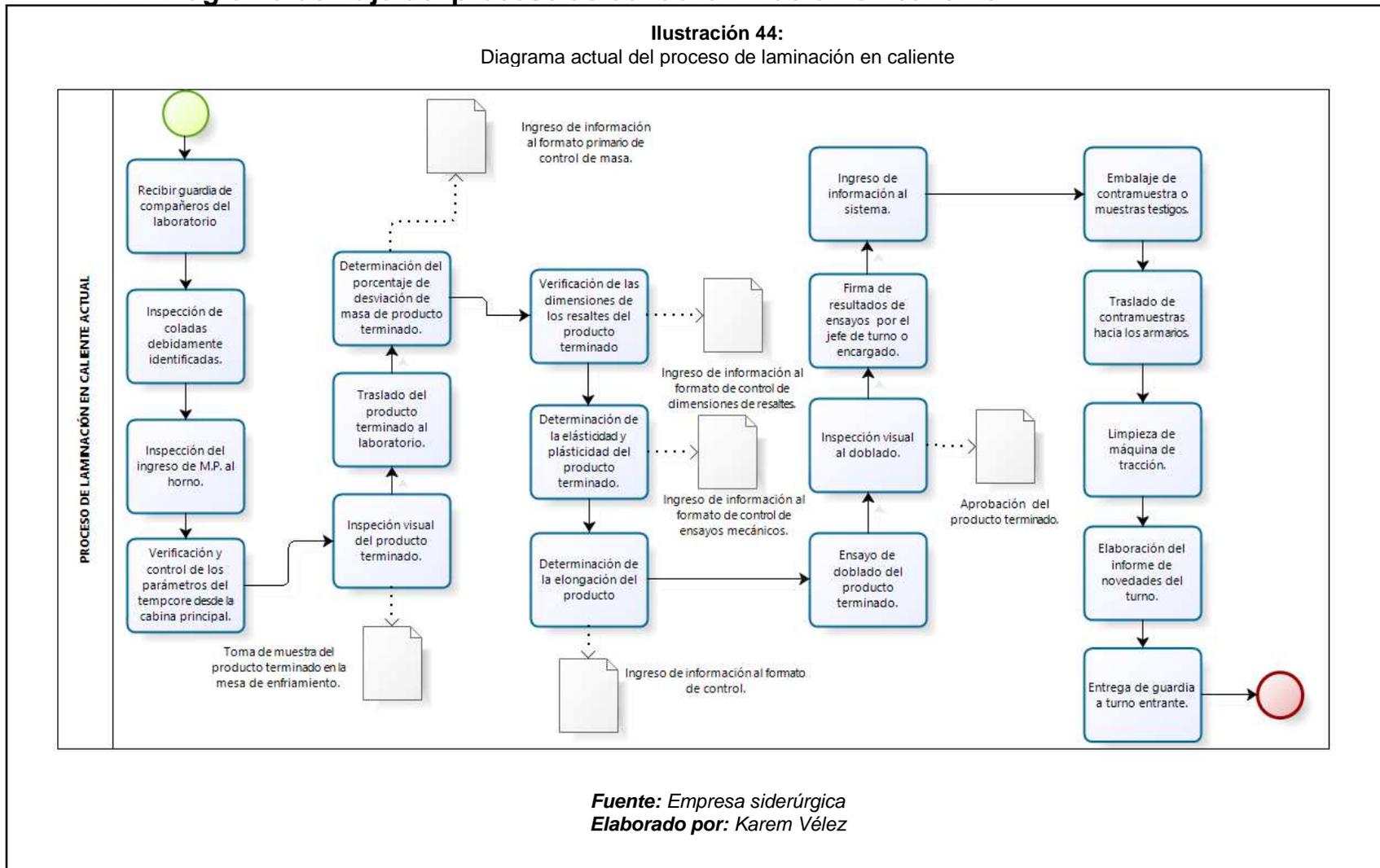
Tren terminador formadas desde la caja 12 hasta la 21 la cual reduce al mínimo espesor la palanquilla dependiendo del diámetro laminado, dándole forma y diseño de rotulación en la caja 21, lo cual pasa por un sistema de enfriamiento denominado Sistema Tempcore, donde la varilla corrugada sufre un termo tratamiento a base de presión de agua y aire comprimido para cumplir con las especificaciones de elasticidad, plasticidad, coeficiente sísmico, y ductilidad. (Rodríguez Parrales & Cueva Rodríguez, 2016)

Seguidamente pasa a la cizalla # 3 que consiste en cortar los 300 m de longitud a 48m, la cual es transportada mediante un camino de rodillo hacia la mesa de enfriamiento en la cual mediante la cizalla 330 se realizan

cortes comerciales de 6, 9, 12 m o longitudes pedidas por los clientes, cabe destacar que este corte a medida comercial genera mermas denominadas despunte en frio y retazos. (Rodríguez Parrales & Cueva Rodríguez, 2016)

Una vez cortado el material a medida comercial es transportado hacia la báscula de pesaje de producto terminado donde es debidamente pesado e identificado con fichas y tickets adhesivos donde consta información de fabricación con el rotulado de la empresa, para después ser transportado y almacenado en las bodegas designadas según el diámetro laminado. (Rodríguez Parrales & Cueva Rodríguez, 2016). Cabe recalcar que cada turno lamina aproximadamente 600 palanquillas lo cual al ser transformado en varilla corrugada viene a ser alrededor de 140 paquetes los cuales son debidamente pesados e identificados.

4.1.1. Diagrama de flujo del proceso actual de laminación en caliente

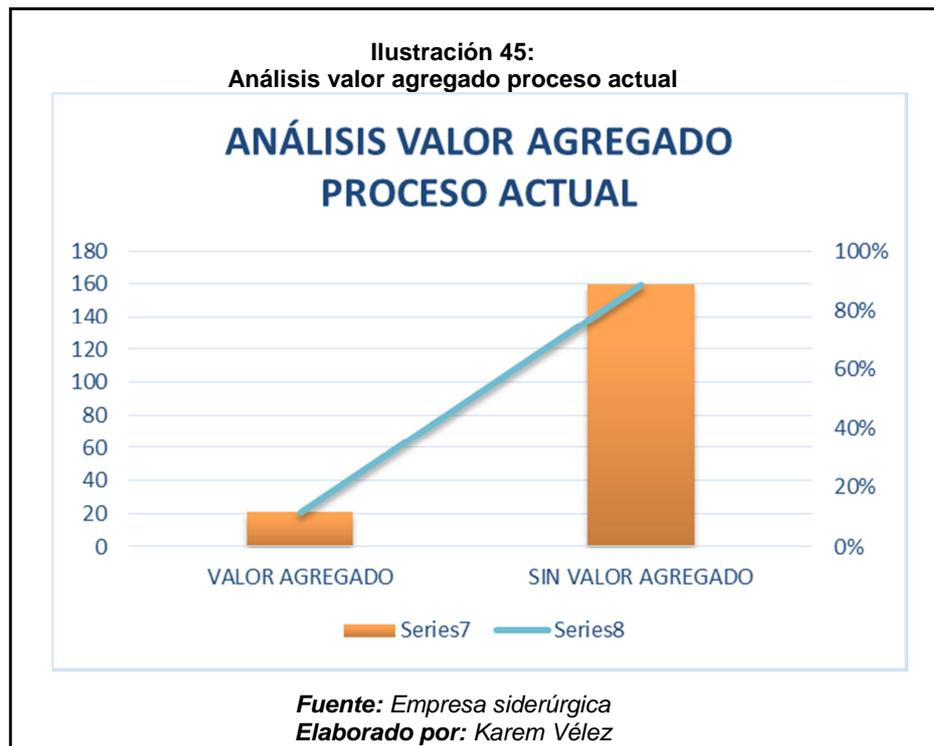


### 4.1.2. Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente

**Tabla 6:**  
**Análisis del valor agregado del proceso actual de laminación en caliente**

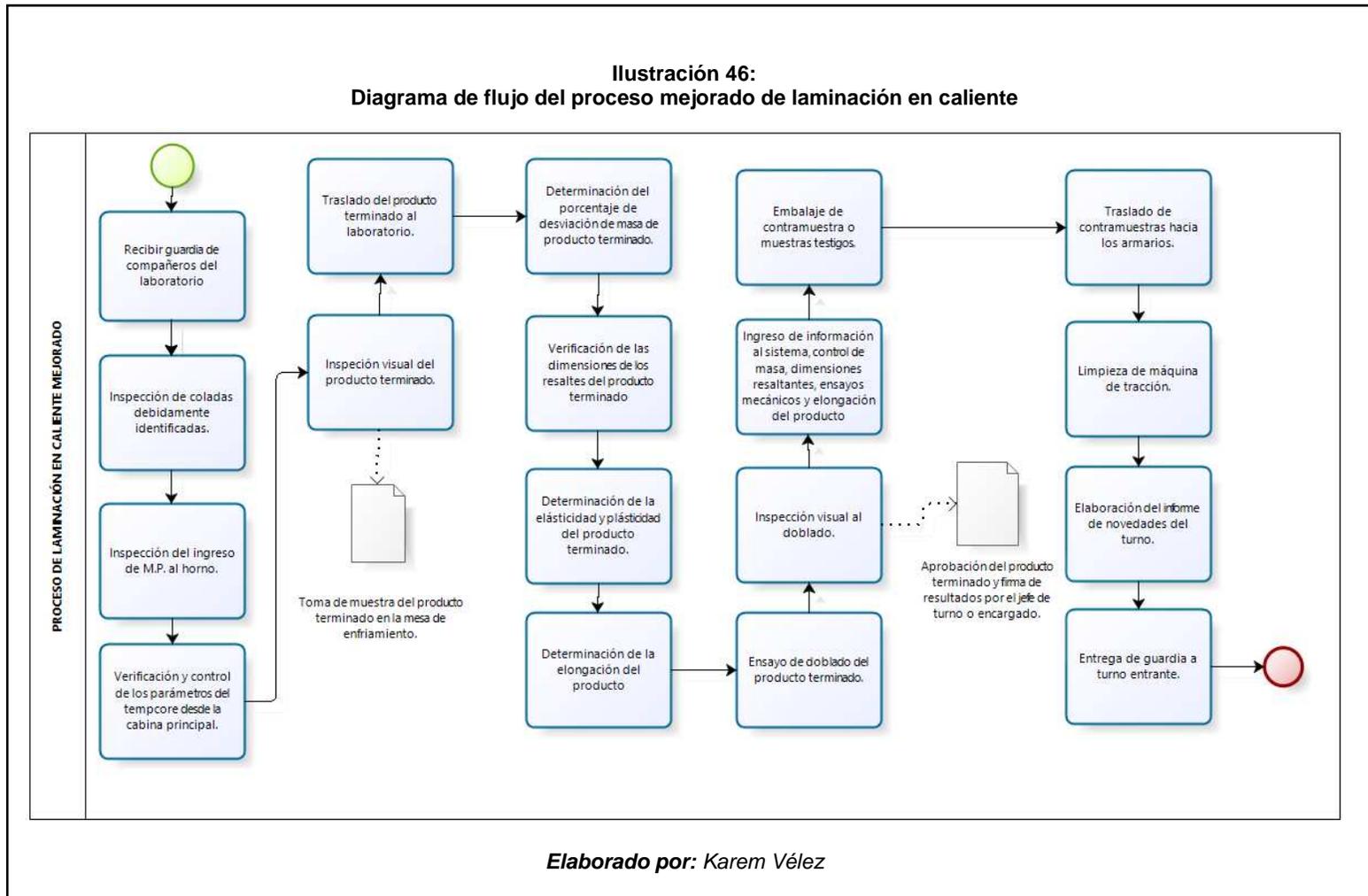
ANALISIS DE VALOR AGREGADO											
VAR (REAL)		SVA(SIN VALOR AGREGADO)					PROCESO: PRODUCCIÓN				FECHA: 16/03/2017
							SUBPROCESO: LAMINACIÓN DE VARILLAS EN CALIENTE				
No.	V.A.C.	V.A.E	P	E	M	I	A	ACTIVIDADES			TIEMPO EF.(min)
1				X				Recibir guardia de compañeros del laboratorio			5
2						X		Inspección de coladas debidamente identificadas.			15
3						X		Inspección del ingreso de M.P. al horno.			2
4			X					Verificación y control de los parámetros del tempcore desde la cabina principal.			10
5						X		Inspección visual del producto terminado.			5
6						X		Toma de muestra del producto terminado en la mesa de enfriamiento.			5
7					X			Traslado del producto terminado al laboratorio.			3
8		X						Determinación del porcentaje de desviación de masa de producto terminado.			1
9						X		Ingreso de información al formato primario de control de masa.			20
10						X		Verificación de las dimensiones de los resaltes del producto terminado			5
11						X		Ingreso de información al formato de control de dimensiones de resaltes.			5
12		X						Determinación de la elasticidad y plásticidad del producto terminado.			10
13						X		Ingreso de información al formato de control de ensayos mecánicos.			5
14		X						Determinación de la elongación del producto			5
15						X		Ingreso de información al formato de control.			10
16		X						Ensayo de doblado del producto terminado.			5
17						X		Inspección visual al doblado.			2
18						X		Aprobación del producto terminado.			10
19						X		Firma de resultados de ensayos por el jefe de turno o encargado.			10
20						X		Ingreso de información al sistema.			10
21						X		Embalaje de contramuestra o muestras testigos.			15
22					X			Traslado de contramuestras hacia los armarios.			3
23					X			Limpieza de máquina de tracción.			5
24						X		Elaboración del informe de novedades del turno.			10
25				X				Entrega de guardia a turno entrante.			5
TIEMPOS TOTALES								TOTAL MINUTOS:		181	
COMPOSICIÓN DE ACTIVIDADES								PROCESO ACTUAL			
V.A.C.	VALOR AGREGADO CLIENTE							N°	Tiempo	%	
V.A.E	VALOR AGREGADO EMPRESA							4	21	12%	
P	PRPARACIÓN							1	10	6%	
E	ESPERA							2	10	6%	
M	MOVIMIENTO							3	11	6%	
I	INSPECCION							5	29	16%	
A	ARCHIVO							10	100	55%	
TT	TOTAL							25	181		
VA	VALOR AGREGADO							4	21	12%	
SVA	SIN VALOR AGREGADO							21	160	88%	

*Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez*



Al realizar el análisis de valor agregado en la **Tabla 5**, se observa que son muy pocas las actividades del proceso que agregan valor a la compañía, sólo son cuatro actividades de veinticinco, por otro lado, existen muchas actividades de archivo o emisiones de informes que conllevan mucho tiempo y poca aportación al proceso, abarcando un total del 88% de las actividades del proceso se realiza una mejora al proceso respecto a las actividades y sus tiempos al realizarlas.

### 4.1.3. Diagrama de flujo del proceso mejorado de laminación en caliente

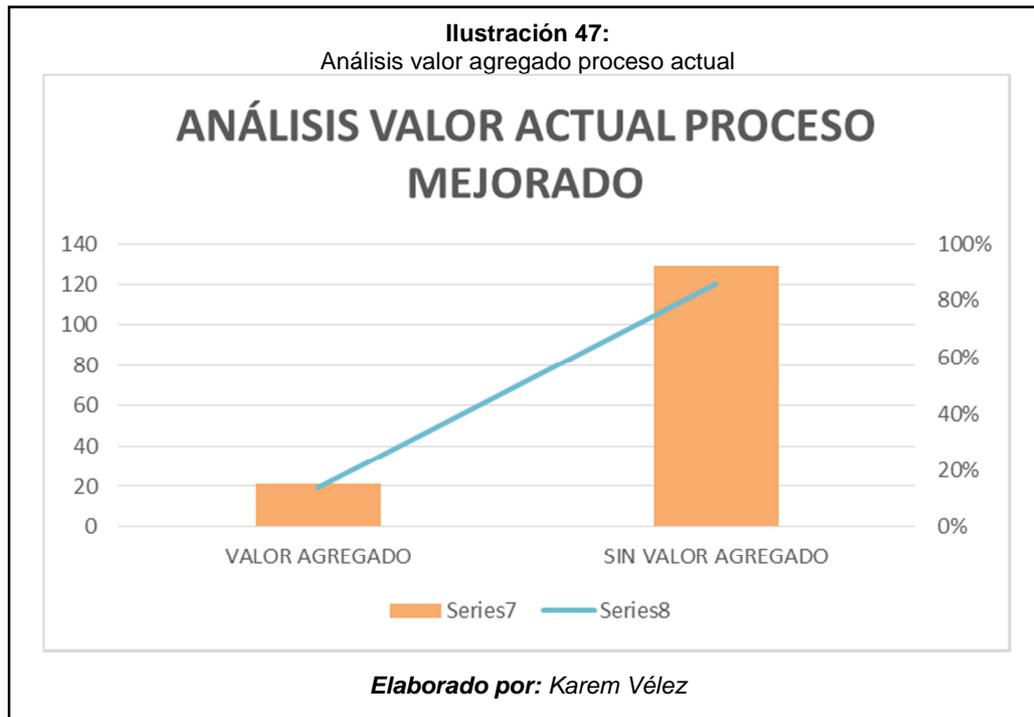


### 4.1.4. Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente

**Tabla 7:**  
Análisis valor agregado del proceso actual de laminación de varillas en caliente

ANÁLISIS DE VALOR AGREGADO												
VAR (REAL)		SVA(SIN VALOR AGREGADO)						PROCESO: PRODUCCIÓN				FECHA: 16/03/2017
								SUBPROCESO: LAMINACIÓN DE VARILLAS EN CALIENTE				
No.	V.A.C.	V.A.E	P	E	M	I	A	ACTIVIDADES				TIEMPO EF.(min)
1				X				Recibir guardia de compañeros del laboratorio				2
2							X	Inspección de coladas debidamente identificadas.				15
3							X	Inspección del ingreso de M.P. al horno.				2
4			X					Verificación y control de los parámetros del tempcore desde la cabina principal.				10
5							X	Inspección visual del producto terminado				5
6							X	Toma de muestra del producto terminado en la mesa de enfriamiento.				5
7					X			Traslado del producto terminado al laboratorio.				3
8	X							Determinación del porcentaje de desviación de masa de producto terminado				1
9							X	Verificación de las dimensiones de los resaltes del producto terminado				5
10	X							Determinación de la elasticidad y plasticidad del producto terminado.				10
11	X							Determinación de la elongación del producto				5
12	X							Ensayo de doblado del producto terminado.				5
13							X	Inspección visual al doblado.				2
14							X	Aprobación del producto terminado y firma de resultados por el jefe de turno o encargado				15
15							X	Ingreso de información al sistema, control de masa, dimensiones resaltantes, ensayos mecánicos y elongación del producto				30
16							X	Embalaje de contramuestra o muestras testigos				15
17					X			Traslado de contramuestras hacia los armarios.				3
18					X			Limpieza de máquina de tracción				5
19							X	Elaboración del informe de novedades del turno				10
20				X				Entrega de guardia a turno entrante				2
TIEMPOS TOTALES								TOTAL MINUTOS:				150
COMPOSICIÓN DE ACTIVIDADES								PROCESO ACTUAL/MEJORADO				
								N°	Tiempo	%		
V.A.C.	VALOR AGREGADO CLIENTE							0	0	0%		
V.A.E	VALOR AGREGADO EMPRESA							4	21	14%		
P	PRPARACIÓN							1	10	7%		
E	ESPERA							2	4	3%		
M	MOVIMIENTO							3	11	7%		
I	INSPECCION							5	29	19%		
A	ARCHIVO							5	75	50%		
TT	TOTAL							20	150			
VA	VALOR AGREGADO							4	21	14%		
SVA	SIN VALOR AGREGADO							16	129	86%		

*Elaborado por: Karem Vélez*



Al realizar el análisis de valor agregado al proceso mejorado en la **Tabla 6**, se observa que existe una mejora en sus actividades y el tiempo que toman realizarlas, en el proceso actual tiene un total de ciento ochenta y un minutos en el total de sus actividades y en el proceso mejorado es de 150 minutos, obteniendo una ganancia de treinta y un minutos.

#### **4.2. Ficha del proceso de laminación en caliente**

A continuación, se muestra la ficha del proceso en estudio el cual pertenece al proceso de laminación en caliente, describiendo las entradas y salidas del mismo y el responsable de cada ingreso o resultado obtenido.

<b>FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO</b>					
<b>XMACROPROCESO</b>	Producción		<b>PROCESO</b>	Producción	
<b>SUBPROCESO</b>	Proceso de laminación en caliente		<b>DUEÑO DEL PROCESO</b>	Supervisor	
<b>OBJETIVO</b>	Revisión del ingreso de toda la materia prima y que la realización del proceso sea adecuada y bajos los parámetros necesarios indicados por la norma INEN				
<b>ALCANCE</b>	PRODUCCIÓN				
<b>PROVEEDOR</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>CLIENTES</b>	
Producción	Informe de coladas realizadas	* Inspección visual del producto terminado. * Determinación del porcentaje de desviación de masa del producto. * Verificación de las dimensiones de los resaltes del producto terminado * Determinación de la elasticidad y plásticidad del producto terminado. * Determinación de la elongación del producto. * Inspección visual al doblado	Muestra del producto terminado	Organización Personal de Producción	
Producción	Comunicación de llegada de material y designación de responsables de verificación		Informe de control de masa	Jefe de Producción Supervisor del departamento de producción Aseguramiento de la Calidad	
	Orden de Compra		Informe de control de dimensiones de resaltes	Jefe de Producción Supervisor del departamento de producción Aseguramiento de la Calidad	
	Pedido de Material		Informe de control de ensayos mecánicos	Jefe de Producción Supervisor del departamento de producción Aseguramiento de la Calidad	
Ventas	Guía de Remisión		Aprobación del producto terminado	Jefe de Producción Supervisor del departamento de producción Aseguramiento de la Calidad	
	Factura				
	Material Adquirido				
<b>RECURSOS CLAVES</b>			<b>RESPONSABLES</b>	<b>REGISTROS DEL PROCESO</b>	
Personal competente			Jefe de almacén Almacenistas	Ingreso de materia prima	
<b>SEGUIMIENTO Y MEDICION (KPI)</b> (Indicador / Índice / Meta / Frecuencia)			<b>REQUISITOS RELACIONADOS</b> (Legales, reglamentarios / SIG / del cliente)	<b>DOCUMENTOS DE REFERENCIA</b> (Internos y externos)	
* Desvío de recepción de materiales * Eficiencia en la recepción de materiales		NTE INEN 2167 VARILLAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE, SOLDABLES, MICROALEADAS O TERMOTRATADAS, PARA HORMIGÓN ARMADO.	n/a		

### 4.3. Aplicación de la técnica 5w y 1h para el análisis de las causas

Se ha escogido como método alternativo para detectar causas de ineficiencia en el proceso el 5W, 1H, ayudará a profundizar más en la raíz del problema.

Una de las principales dificultades que se le presentan a la empresa siderúrgica son las limitaciones que posee por no contar con un proceso bien definido, para el análisis decidimos tomar la causa principal del problema que se han establecido en el Ishikawa anteriormente, para plantear posibles soluciones. A continuación, se muestra el desarrollo del mismo en *la Tabla 8*.

**Tabla 8:  
5W Y 1 H Empresa**

CAUSA	¿QUÉ?	¿Quién?	¿Dónde?	¿Cuándo?								¿Cómo?	¿Con qué?	
	ACTIVIDADES SECUENCIALES	RESPONSABLE	ÁREA	MES 1				MES 2				Instrumentos de trabajo	Recursos	
				S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4			
MÉTODOS EMPIRICOS DE CONTROL	Implementación de bitácoras.	GERENCIA	PRODUCCIÓN										PC.	TECNOLÓGICOS Y DOCUMENTALES
	Coordinar de manera eficiente al personal existente.	SUPERVISOR	PRODUCCIÓN										DOCUMENTOS.	TECNOLÓGICOS Y DOCUMENTALES
	Planificación de incentivos.	GERENCIA	PRODUCCIÓN										DOCUMENTOS.	DOCUMENTALES
	Supervisar o controlar las actividades relativas	SUPERVISOR	PRODUCCIÓN										PC, DOCUMENTACIÓN PREVIA, COMUNICACIÓN DIRECTA.	TECNOLÓGICOS
	Seguimientos periódicos.	SUPERVISOR	PRODUCCIÓN										PC, DOCUMENTACIÓN PREVIA.	DOCUMENTALES
	Implementar modificaciones de ser necesarios.	GERENCIA	PRODUCCIÓN										PC, DOCUMENTACIÓN PREVIA.	DOCUMENTALES

*Fuente: Empresa siderúrgica  
Elaborado por: Karem Vélez*

**Implementación de bitácoras.** - Se usaría para comunicación con la persona que tiene el siguiente turno, para complementar las actividades presenciales y favorece la interacción entre empleados y proporciona soporte a las actividades de realizadas y retroalimentación.

**Coordinar de manera eficiente al personal existente.** - Debido a que el principal recurso de toda empresa son sus empleados el supervisor o encargado deben coordinar a los empleados que estos realicen su trabajo con eficiencia y efectividad de acuerdo con los objetivos establecidos.

**Planificación de incentivos.** - La organización en su busca de mejoras debe incentivar al personal en la participación de mejoras en el proceso, por ende, la inclusión de bonos o reconocimientos a sus empleados que demuestren mayor proactividad en sus labores.

**Supervisar o controlar las actividades relativas.** - El encargado de la supervisión de la elaboración de las varillas debe realizar controles y verificación, en el caso de tener algún inconveniente comunicarlo enseguida al inmediato superior.

**Seguimientos periódicos.** - Incluir fechas para la verificación de que se cumplan con lo establecido.

**Implementar modificaciones de ser necesarios.**- Tomar acciones correctivas o preventivas dependiendo el caso y de esta manera mejorar el proceso de producción.

#### **4.4. Definir indicadores**

Los indicadores que se utilizan para la medición, permiten evaluar el desempeño de las actividades que se lleva a cabo en el proceso de producción de Laminación en Caliente, son considerados los siguientes indicadores para el cumplimiento de los objetivos que se plantea la empresa:

- Calidad
- Eficiencia
- Efectividad

El objetivo primordial para la realización de los indicadores es fortalecer el desempeño del trabajo que se realiza a través del resultado de los mismos, de forma tal que permitan a la Gerencia tomar decisiones oportunas, para solucionar cualquier caso inesperado que se presente.

**Calidad:** proceso de producción de Laminación en Caliente es un proceso que necesita cumplir con la normativa establecida a nivel nacional que son claves en la obtención de la certificación del producto, además en los cuales intervienen equipos que deben estar calibrados y disponibles para el proceso llevado a cabo en laminación en caliente, debido a esta razón es importante evaluar el nivel de calidad que se obtiene para poder satisfacer las expectativas del cliente. El indicador definido es:

- Índice de la calidad.

**Eficiencia:** Es importante medir el proceso por su eficiencia debido a que su medición representa la capacidad que tiene la producción con el mínimo de los recursos. Los indicadores definidos dentro de esta unidad son:

- Porcentaje horas-hombre que intervienen en reajustes a las maquinarias
- Productividad de la mano de obra.

**Efectividad:** Es propio medir el desempeño del proceso de producción de Laminación en Caliente para evaluación del cumplimiento de los objetivos planificados, es decir la relación entre los resultados logrados y los resultados propuestos, además de brindar un seguimiento de las actividades que intervienen y poder obtener una mejora en el proceso. Los indicadores definidos que se establecen:

- Porcentaje de mermas en comparación con la producción
- Efectividad del mantenimiento llevado a cabo en el proceso de producción de Laminación en Caliente.

# **CAPÍTULO V**

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Este proyecto tuvo como principal objetivo la utilización de gráficos de control estadístico de procesos para la fabricación de varillas de acero usadas en el sector de la construcción para contribuir en la toma de decisiones, en base a lo expuesto se han derivado las siguientes conclusiones:

1. En el análisis de la situación actual se realizó el levantamiento de la información para elaborar el mapa de procesos, la determinación de las actividades agregadoras de valor, la diagramación del flujo de procesos de laminación en caliente del producto y sus respectivos diagramas de barra, que determinaron problemas que aquejan al proceso con herramientas de calidad, por lo tanto, se utilizó Ishikawa y la herramienta de los 5W y 1 H, mediante los cuales se evidenció que la principal causa, es el uso de métodos empíricos, en consecuencia, en el capítulo III se establecieron las soluciones que pueden atacar estas causas y de esta manera mejora el proceso.
2. Para la detección de los problemas más relevante de del proceso, se definieron tres variables para ser tratadas estadísticamente, “Fluencia”, “Resistencia” y “Porcentaje desviación de masa.”, se realizó la aplicación de técnicas

estadísticas, que demuestran valores atípicos que alteraban el análisis, además de las pruebas de normalidad, la realización de cartas de control estadísticos, y análisis de las posibles razones que aquejan al proceso.

3. Se han efectuado estos gráficos, debido a que nuestro interés es que las variables de estudio se encuentren entre los límites de control y cumplan con los estándares establecidos en el INEN 2167, los cuales demuestran que cumplen con las normas, a pesar de los inconvenientes por la falta de supervisión idónea de los responsables del proceso.
4. Con la información que se obtuvo del análisis, se lograron identificar puntos de mejora en el flujograma que contribuirían a la optimización en tiempos del proceso incrementando el valor agregado a la empresa.

## **5.2. Recomendaciones**

En base a los resultados de los diferentes capítulos del proyecto y las conclusiones expuestas, se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Elaborar procedimientos para el seguimiento del proceso de laminación en caliente, que mejore la comprensión del mismo, para las personas que intervienen en el.
2. Realizar un análisis de situación de mejora el cual se indica posibles progresos que la compañía podría realizar para mejorar en las actividades que agregan valor a la compañía.
3. Basándose en las herramientas de calidad se establecieron recomendaciones que pueden ser aplicadas para arremeter estas causas y de esta manera mejorar el proceso.
4. Efectuar procedimientos para la implementación de técnicas estadísticas en el análisis de las variables que son evaluadas por estándares nacionales e internacionales.

5. Implementar al proceso la utilización de cartas de control, además de tomar en cuenta los resultados del trabajo para poder realizar la fase para las cartas de control  $\bar{x}$  y  $R$ .

## **6. Bibliografía**

- aly, A., Saleh, N. A., Mahmoud, M. A., & Woodall, W. H. (2015). A Reevaluation of the Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Control Chart When Parameters are Estimated. *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 31, pp. 1611-1622.
- Amat, O. (1999). EVA: Valor Económico Agregado. En O. Amat, *EVA: Valor Económico Agregado* (pág. 11). Bogotá: Editorial Norma.
- ANDEC. (01 de ENERO de 2014). *Acerías del ecuador sociedad anonima a.n.d.e.c.* recuperado el 06 de noviembre de 2017, de acerías del ecuador sociedad anonima A.N.D.E.C.:  
<https://www.andec.com.ec/index.php/es/Conocenos/historia>
- Aparisi, F. (1996). A comparison between the simultaneous use of Shewhart charts and the use of the T2 control chart. *Proceedings of the Section of Physical and Engineering Sciences of the American Statistical Association*, 275-280.
- Best, M. A., Neuhaser, D., & Slavin, L. (2003). Verification and Validation of the Scientific Process in Healthcare, as Demonstrated by the Report of the Royal Commission on Animal Magnetism and Mesmerism. *Trafford Publishing*.
- Bravo Carrasco, J. (2008). *Gestión de procesos*. Chile: Editorial Evolución S.A.
- Crosier, R. B. (1988). Multivariate generalizations of cumulative SUM quality control. *Technometrics*, 291-303.
- Delvicier, A., & Vélez, K. (Marzo de 2015). Diseño de un sistema de gestión por procesos para una empresa radiodifusora en la ciudad Guayaquil. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Drucker, P. (1999). The practice of management. En P. Drucker, *La gerencia de empresas* (pág. 100). Buenos Aires: Sudamericana.
- Fuch, C., & Benjamini, Y. (1994). Multivariate profile charts for statistical process control. *Technometrics*, VOL 36. No. 2.
- Gil, M. d. (2003). Costeo basado en la actividad. En M. d. Gil, *Cómo Crear y hacer funcionar una empresa* (pág. 42). Madrid: Esic Editorial.
- González Fernández, F. (2006). Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid: Editorial Fundación Confemetal.
- Graw-Hill. (1985). *Recopilación del libro "Conceptos y Técnicas de la Dirección y Administración Estratégicas"*. Thompson – Strickland . : Editorial Mc.
- Hawkins, D. M. (1993). Regression adjustment for variables in multivariate quality control. *Journal of Quality Technology*, 170-182.
- Hax, A., & Majluf, N. (1993). *Gestión de empresa con una visión estratégica*. Santiago de Chile: Dolmen.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2017). NTE INEN 2167 varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado. Requisitos. *Nte inen 2167 varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado. Requisitos*. Guayaquil, Guayas, Ecuador .
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). Applied multivariate statistical analysis. 6th ed. Prentice-Hall. En R. A. Johnson, & D. W. Wichern, *Applied multivariate statistical analysis. 6th ed. Prentice-Hall*. New Jersey: Upper Saddle River.

- Kaplan, R., & Cooper, R. (1999). Coste y Efecto. En R. Kaplan, & R. Cooper, *Coste y Efecto* (págs. 187-188). Barcelona: Gestión 2000.
- Kasuni, M., & Pignatiello, J. J. (1985). Development of multivariate CUSUM chart. *The American Society of Mechanical Engineers, New York*, 427-432.
- Lind, P. (2002). En Chile, el valor agregado es más bajo. En P. Lind, *En Chile, el valor agregado es más bajo* (pág. 35). Revista Informática.
- Loaiza, R. D. (2013). Gráficos de control no paramétricos basados en R-estadísticos con aplicación multivariante. MADRID, ESPAÑA .
- Lorino, P. (1994). El Control de Gestión Estratégico. Mexico: Alfaomega.
- Lorino, P. (1996). Costos. En P. Lorino, *El control de gestión estratégico* (pág. 17). Bogotá: Alfaomega.
- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*, 46-53.
- Luis, C. (2004). *HISTORIA BREVE DEL MUNDO CONTEMPORANEO*. MADRID: RIALP.
- M. S. HAMED, M. M., & ENAYAT M., A. E. (2016). MCUSUM CONTROL CHART PROCEDURE:. *Journal of Statistics: Advances in Theory and Applications*, 105-132.
- MacGregor, J. F., & Kourti, T. (1995). *STATICAL PROCESS CONTROL OF MULTIVARIATE PROCESSES*. HAMILTON, CANADA.
- Minitab 17*. (s.f.). Obtenido de [www.minitab.com.es](http://www.minitab.com.es).
- Montgomery, D. C. (2011). Control estadístico de calidad. En D. C. Montgomery, *Control estadístico de calidad* (pág. 797). New York: Limusa Noriega.
- Mosquera Restrepo, J., Olaya Ochoa, J., & Escobar, R. (Diciembre de 2007). Aplicación del control estadístico multivariante en un proceso de extrusión de película plástica. Pereira, Colombia.
- Murphy, B. J. (1987). Selecting out of control variables with the T2 multivariate quality control procedure. *The Statistician*, 571-583.
- Paredes, A. (2009). *Certificación Internacional de Especialistas en Gestión por Procesos*. Obtenido de Universidad Politecnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1460/3/CAPITULO%202.pdf>
- Pérez López, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Pignatiello, J. J., & Runger, G. C. (1990). Comparison of multivariate CUSUM charts. *Journal of Quality Technology* 22, 173-186.
- RIAZ, N., ABBAS, N., & DOES, R. J. (2011). Improving the performance of cusum charts. *Quality and Reliability Engineering International*, Volume 27, Issue 4.
- Rodríguez Parrales, C. R., & Cueva Rodríguez, B. (2016). *Estudio de confiabilidad en el cierre de informes del sistema de pesaje de producto terminado de la empresa ANDEC S.A.* Guayaquil.
- RUIZ, A. Y. (Marzo de 2006). Control estadístico de procesos. Madrid.
- Ruiz, O. H. (2013). Gráficos de control de calidad. Valencia, España.
- Sánchez, I. (2006). Control de procesos por atributos. Madrid, España.
- Sánchez, M. A. (Julio de 2016). Desarrollo de una aplicación de gráficos de control de procesos industriales. La Coruña, España.
- Seber, G. F. (1984). *Multivariate Observations*. New York, NY: John Wiley & sons,.
- SEIF, A., & ET, A. (2017). A statistically adaptive sampling policy to the Hotelling's T2 control chart: Markov chain approach. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, Pages 3919-3929 .

- Tracy, N. D., Young, J. D., & Mason, R. L. (1992). Multivariate Control Charts for Individual Observations. *Journal of Quality Technology*, 88-95.
- Villavicencio Cabrera , C. A. (Diciembre de 2014). Diseño y optimización del sistema de producción: proceso de fabricación de la varilla de acero de la empresa andec S.A. Guayaquil, Guayas, Ecuador. Recuperado el 16 de Diciembre de 2017, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4788/1/C%C3%89SAR%20A%20%20VILLAVICENCIO%20CABRERA.pdf>
- Woodall, W. H., & Ncube, M. M. (1985). Multivariate CUSUM quality-control procedures. *Technometrics* , 285-292.