



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COLEGIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Implementación e interpretación de SPC para  
diagnóstico del proceso de tratamiento térmico  
temple y revenido

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

C. David Gómez Haro

Asesor: Ing. Luis Enrique Chávez Muñoz

H. Puebla de Zaragoza,

Abril 2018



**BUAP**

Oficio D-SA 1463/2018

**C. DAVID GÓMEZ HARO**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA**  
**INDUSTRIAL**  
**Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

**“IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO”.**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor al Ing. Luis Enrique Chávez Muñoz.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

**Atentamente,**

**“Pensar bien, para vivir mejor”**

**H. Puebla de T. a 24 de abril de 2018**

  
**M. en I. Fernando Daniel Lazzano Hernández**  
**Director**



**M'FDLH/M/JAJT/BARV**  
**C.c.p. Interesado**  
**C.c.p. Archivo**

**M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Presente.**

La que suscribe: Ing. Luis Enrique Chávez Muñoz, Asesor del tema de tesis:

**“IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO”.**

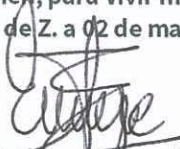
Presentada por el C. David Gómez Haro, pasante del Colegio de Ingeniería Industrial, y en atención al oficio No. D – SA 1463/2018 con fecha de emisión 24 de abril de 2018, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

**Atentamente**

**“Pensar bien, para vivir mejor”**

**H. Puebla de Z. a 02 de mayo de 2018**



**Ing. Luis Enrique Chávez Muñoz**  
**Asesor**

**I'LEChM/BARV**  
**C.c.p. Interesado**  
**C.c.p. Archivo**

## Dedicatoria

Mi Tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis padres, David Gomez Paulino y Gloria Haro Montes quienes me han dado sus mejores consejos, comprensión, amor y también me han enseñado a tener carácter, empeño y perseverancia para lograr mis objetivos.

Quisiera dedicar también esta Tesis a mis hermanos Luis Mario y Selene Gomez Haro, ya que ellos siempre me han acompañado en cada momento de mi vida, en los triunfos y también en los fracasos y gracias a su apoyo moral he podido seguir adelante.

Y de manera muy especial dedico este trabajo de Tesis a mi amado hijo David Gomez Luna quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para él.

## Agradecimientos

Primeramente quiero agradecerle a Dios por su inmensa bendición derramada en mi vida y por permitirme estar al lado de mis seres amados dándonos salud y bienestar y también por permitirme obtener este logro profesional. Esta victoria es para Jesucristo.

Agradezco especialmente a mis padres por brindarme a lo largo de esta experiencia académica los recursos necesarios y darme su apoyo para que esto fuera posible.

Agradezco también a mi asesor el Ing. Luis Chávez Muñoz, por guiarme y darme su apoyo e instrucciones para que este proyecto fuera concluido exitosamente.

También agradezco a mi esposa Mónica quien me acompañó en esta etapa final de mi carrera.

Y para finalizar le agradezco a la empresa ThyssenKrupp Metalúrgica de México por permitirme realizar mi proyecto de Tesis dentro de sus instalaciones y procesos.

## **Índice general**

Listado de figuras	5
Listado de tablas	6
<b>Capítulo I. Introducción</b>	<b>7</b>
I.1 Justificación	8
I.2 Objetivo general	9
I.3 Objetivos específicos	9
<b>Capítulo II. ThyssenKrupp Metalúrgica de México</b>	<b>10</b>
II.1 Antecedentes Históricos	10
II.2 Misión y Visión	11
II.3 Política de mejora continua	12
II.4 Cumplimiento con los requisitos legales aplicables de medio ambiente y seguridad en el trabajo	13
Capitulo III. Tratamiento térmico	14
III.1 Tipos de tratamientos térmicos	15
III.2 Calentamiento	16
III.3 Mecánica del calentamiento	17
III.4 Mecánica de empape	18
III.4.1 Factores que influyen en la mecánica de empape	18
III.5 Enfriamiento	20
III.5.1 Etapas de enfriamiento	21
III.6 Tipos de aceite para enfriamiento	23
III.7 Propiedades de los aceros	23
III.8 Ensayos mecánicos	25

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

III.9 Datos de los hornos de tratamiento térmico y especificaciones del producto a evaluar	31
III.10 Datos y especificaciones de las piezas tratadas térmicamente	35
III.11 Procedimiento de liberación metalúrgica de Set-Up de piezas con tratamiento térmico	39
<b>Capítulo IV. Control estadístico del proceso (SPC)</b>	<b>44</b>
IV.1 Definiciones	45
IV.2 ¿Por que usar El SPC?	46
IV.2.1. Beneficios de las gráficas de control	46
IV.3 Concepto de variabilidad	46
IV.4 Causas de variación	48
IV.5 Histograma	50
IV.6 Distribución normal	51
IV.7 Cartas de Control	52
IV.8 Elementos básicos de una carta de control	52
IV.9 Límites de Control	53
IV.10 Tipos de Cartas de Control	54
IV.11 Gráficos de control para variables y elaboración de gráficos X – R	55
IV.11.1. Primeros pasos de elaboración de gráficos promedios y rangos (X-R)	56
IV.12 Criterios para causas especiales	61
IV.13 Capacidad potencial del proceso (Cp)	66
IV.14 Índice de capacidad inferior (C <sub>pl</sub> ), y de capacidad superior (C <sub>ps</sub> )	69
IV.15 Capacidad real del proceso (C <sub>pk</sub> )	70
IV.16 Índice K	71
<b>Capítulo V. Análisis de información</b>	<b>72</b>
V.1 Pasos para realizar el análisis de SPC usando Excel y Minitab	73

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

V.1.1 Opciones de cálculo para análisis del SPC e interpretación de resultados	76
<b>Capítulo VI. Recomendaciones</b>	82
VI.1 Conclusión	90
<b>Bibliografía</b>	92

## Listado de figuras

<b>Figura 2.1.</b> Vista de la entrada empresa	10
<b>Figura 2.2.</b> Diagrama del ciclo PDCA	12
<b>Figura 2.3.</b> Logotipos de certificaciones	13
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama Hierro-Carbono	17
<b>Figura 3.2.</b> Diagrama TTT para un acero	20
<b>Figura 3.3.</b> Muestra un esquema de una máquina para ensayos de tracción. En ellas se estira la probeta a una velocidad constante	25
<b>Figura 3.4.</b> Grafica esfuerzo-deformación	26
<b>Figura 3.5.</b> Maquina universal para ensayos de tracción	27
<b>Figura 3.6.</b> Fórmulas para cálculos del ensayo de tracción	27
<b>Figura 3.7.</b> Indentador (Para dureza Brinell)	28
<b>Figura 3.8.</b> Durómetro	29
<b>Figura 3.9.</b> Esquema de la maquina Charpy para el ensayo de impacto	30
<b>Figura 3.10.</b> Ilustración de la distribución de los quemadores de los hornos de temple y revenido y la posición de bandejas por zonas, también se observa el carro transportador de material entre hornos	34
<b>Figura 3.11.</b> Biela: Secciones para análisis de microestructura y ensayos mecánicos	35
<b>Figura 3.12.</b> Medición de dureza superficial	36
<b>Figura 3.13.</b> Martensita distencionada de acuerdo a las secciones para análisis, ver Figura 3.11. Se realiza análisis de microestructura, haciendo cortes con sierra de cinta en las secciones acuerdo a la especificación metalúrgica, haciendo un pulido a espejo y aplicando un ataque "Nital" (Solución química entre Alcohol etílico 95% y ácido nítrico 5%)	37
<b>Figura 3.14.</b> Ejemplo de ensayos mecánicos colada "LT"	38
<b>Figura 3.15.</b> Monitoreo y medicion de dureza	42
<b>Figura 3.16.</b> Control metalúrgico emitido por laboratorio	43
<b>Figura 4.1.</b> "6 M variación de un proceso"	47
<b>Figura 4.2.</b> Causas de variación	49
<b>Figura 4.3.</b> Histograma	50
<b>Figura 4.4.</b> Representación de una distribución normal o unimodal	51
<b>Figura 4.5.</b> Elementos de una carta de control	52
<b>Figura 4.6.</b> Límites de control	53
<b>Figura 4.7.</b> Fórmulas para cálculo de gráficos promedios y rangos ( $\bar{X} - R$ )	57
<b>Figura 4.8.</b> Fórmulas para cálculo de gráficos de individuales / rango móvil (I-MR)	59
<b>Figura 4.9.</b> Tabla de constantes	60
<b>Figura 4.10.</b> Un Punto a más de 3 desviaciones estándar de la media	62
<b>Figura 4.11.</b> Siete Puntos alineados en un mismo lado de la línea central	62
<b>Figura 4.12.</b> Seis Puntos en línea, crecientes o decrecientes	63

<b>Figura 4.13.</b> Catorce puntos alternándose uno arriba y otro abajo	63
<b>Figura 4.14.</b> Dos de tres puntos a más de dos desviaciones estándar de la línea central (del mismo lado)	64
<b>Figura 4.15.</b> Cuatro de cinco puntos a más de una desviación estándar de la línea central (del mismo lado)	64
<b>Figura 4.16.</b> Quince puntos dentro de una desviación es estándar de la línea central (a ambos lados)	65
<b>Figura 4.17.</b> Ocho puntos a más de una desviación estándar de la línea central (a ambos lados)	65
<b>Figura 4.18.</b> Capacidad potencial	66
<b>Figura 4.19.</b> Ejemplo gráfico de un proceso descentrado	71
<b>Figura 5.1.</b> Registro de medición de dureza en una tabla de distribución de frecuencia	74
<b>Figura 5.2.</b> Ejemplo de los valores capturados de la tabla de distribución de frecuencia	75

### Listado de tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Valores del Cp y su interpretación	67
<b>Tabla 1.2.</b> PPM: Partes por millón	68

## **Capítulo I. Introducción**

ThyssenKrupp Metalúrgica de México es una empresa metal mecánica ubicada en la ciudad de Puebla, tiene como mercado el sector automotriz, esta es proveedor de productos forjados y maquinados de bielas, pistones y cigüeñales para empresas como; Cummins, Caterpillar, Volvo, Volkswagen, Kolbenschmidt y Perkins.

En la actualidad, el crecimiento del mercado automotriz y la exigente demanda de productos de calidad se han incrementado considerablemente conforme al desarrollo de la economía y la creación de nuevas empresas, esto nos obliga a ofrecer un mejor producto y altos estándares de calidad que nos permita ser un proveedor de primer nivel, esto implica la mejora continua en el control de los procesos.

En el sistema de manufactura de productos forjados hay diversos procesos pero en este estudio nos enfocaremos al tratamiento térmico de piezas forjadas.

El presente análisis tiene como principal problemática la variación de dureza en las bielas bajo el proceso de tratamiento térmico, debido a que el comportamiento del proceso es inestable, lo que como consecuencia genera problemas de maquinado a nuestros clientes, por ejemplo; reducción de la vida útil de las herramientas de corte y colisiones de las mismas, exceso de retrabajos, consumo de energía, mano de obra y posibles desechos, y se es necesario la implementación de una herramienta de detección.

## **I.1 Justificación**

Se mencionó anteriormente sobre la inestabilidad del proceso de tratamiento térmico y la variación de dureza en las bielas procesadas, en este proyecto como área de oportunidad se pretende implementar el control estadístico del proceso e interpretar los resultados de esta herramienta de calidad.

Con el enfoque de la política de calidad de ThyssenKrupp Metalúrgica de México, de satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, el presente proyecto tiene la finalidad de demostrar que la implementación de esta herramienta de control de calidad en el proceso de tratamiento térmico es favorable, enfatizando siempre la necesidad de la mejora continua en la calidad de los procesos y productos

Se pretende que el resultado de este estudio demuestre que los cambios se pueden ejecutar aportando las mejores prácticas.

## **I.2 Objetivo general**

Ayudar a mejorar el proceso de maquinado del cliente debido a que por la variación de la dureza de la biela ha aumentado el consumo de herramientas de corte, en este proyecto se pretende aumentar la eficiencia del proceso de tratamiento térmico a través de la implementación del control estadístico de procesos para la identificación de posibles causas comunes y especiales de variación, con el propósito de predecir la variación de la dureza de bielas.

## **I.3 Objetivos específicos**

Implementar el control estadístico del proceso para ayudar a optimizar el consumo de herramientas de corte de maquinado del cliente.

Interpretación de resultados

Eliminar retrabajos.

## Capítulo II. ThyssenKrupp Metalúrgica de México

### II.1 Antecedentes Históricos

ThyssenKrupp Metalúrgica de México, S. A. de C. V. es una empresa del Grupo Components Technology que participa en el segmento de manufactura de componentes forjados y maquinados para la industria automotriz.

Su línea de productos incluye entre otros:

- Componentes forjados para motores: Cigüeñal, biela, cabeza de pistón
- Componentes maquinados para motores: Biela
- Componentes pre-maquinados: Pistones

Estos productos son destinados para el mercado nacional e internacional, utilizando tecnología desarrollada por ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo Ltda.

La planta se localiza en el municipio de San Miguel Xoxtla, en el estado de Puebla, lugar donde inicio actividades en el año 1996. Actualmente posee un área construida de 19,500 m<sup>2</sup>, en un terreno de 72,000 m<sup>2</sup> y cuenta con un promedio de 450 trabajadores.

Ubicación: Camino a Santa Águeda No. 1, San Miguel Xoxtla, Puebla. **C.P.** 72620, **Tel:** (222) 223 7000. (Figura 1.1).



**Figura 2.1.** Vista de la entrada empresa

## **II.2 Misión y Visión**

### **Misión**

Trabajamos para satisfacer las más altas expectativas. Actuamos como emprendedores, con plena confianza, valentía y centrándonos en la eficiencia, con el objetivo de ser los mejores. Las bases para conseguirlo son el compromiso y la capacidad de cada miembro del equipo. Concedemos especial importancia al desarrollo de los empleados. La salud y seguridad en el puesto de trabajo son nuestra principal prioridad.

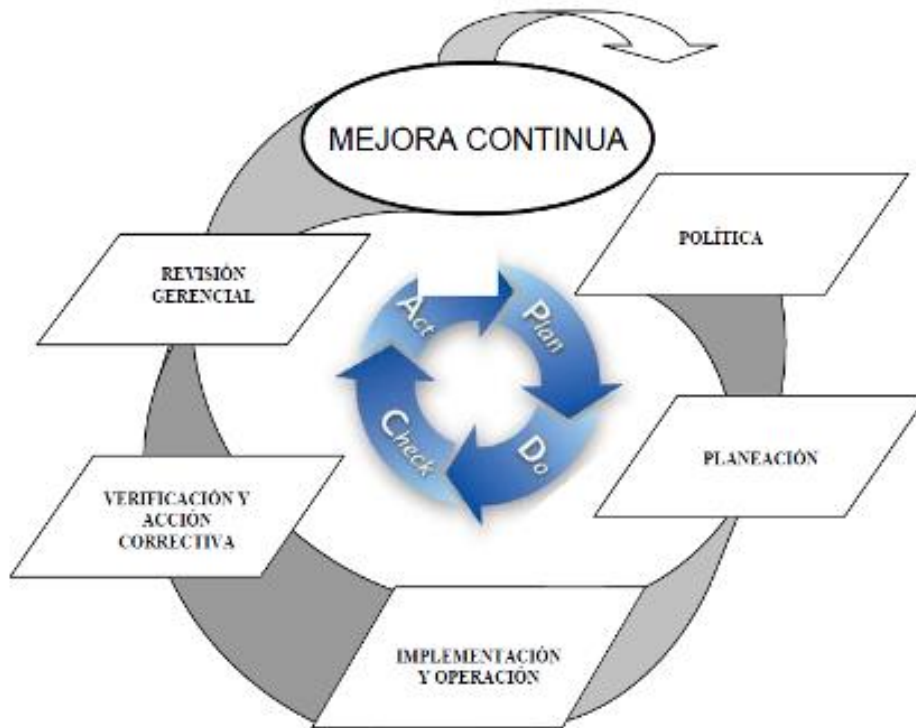
### **Visión**

Ser reconocido como el proveedor de acero más confiable en el mercado, entregando soluciones de calidad indiscutida.

### II.3 Política de mejora continúa

El Sistema de Gestión de Calidad se implementa mediante el ciclo de Deming (Planear, Hacer, Verificar y Actuar). Dicho sistema de gestión se mantiene con los procesos de auditorías internas y las revisiones gerenciales, mejorándose a través de los diferentes proyectos, ideas o sugerencias al mismo.

La base del Sistema de Gestión de Calidad es la mejora continua de los procesos existentes, dentro de un ciclo PDCA (Figura 1.2.), con enfoque al empleado manteniendo las directrices y premisas definidas en la Política de Calidad.



**Figura 2.2.** Diagrama del ciclo PDCA

## II.4 Cumplimiento con los requisitos legales aplicables de medio ambiente y seguridad en el trabajo

Thyssenkrupp Metalúrgica de México considera la seguridad y la salud ocupacional de sus colaboradores y prestadores de servicio, la preservación del medio ambiente y la calidad de sus procesos/productos, como valores fundamentales de la organización.

El logro de la implementación y mantenimiento del sistema de gestión de la calidad de acuerdo a ISO/TS 16949:2002, Sistema de Gestión Ambiental con base en ISO 14001:2004, Industria Limpia y el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (OHSAS 18001:2007) ha demostrado que la empresa elabora productos de calidad, satisfaciendo las necesidades del cliente y cumpliendo su compromiso con el medio ambiente y sus trabajadores. (Figura 2.3.).



**Figura 2.3.** Logotipos de certificaciones

### **Capítulo III. Tratamiento térmico**

Los tratamientos térmicos son una herramienta muy utilizada, en el que se realizan operaciones de calentamiento controlado, mantenimiento a temperatura y enfriamiento controlado para procesos determinados. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, y como consecuencia las propiedades mecánicas, se pueden realizar tratamientos térmicos sobre una parte o la totalidad de la pieza, con la finalidad de lograr resistencia y dureza.

Etapas de un tratamiento térmico:

- Calentamiento hasta la temperatura fijada: La elevación de la temperatura debe ser uniforme en la pieza.
- Permanencia a la temperatura fijada: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse suficiente una permanencia de unos 2 minutos por milímetro de espesor
- Enfriamiento: Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2008, pág. 6)

### **III.1 Tipos de tratamientos térmicos**

Existen varios tipos de tratamientos térmicos, pero en este proyecto sólo se trabajara con dos de estos; *“Temple y Revenido”*.

#### **Temple:**

El temple es un tratamiento térmico que tiene como objetivo aumentar la dureza y la resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados.

En el temple es muy importante la fase del enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada templabilidad (cualidad de una aleación por la que adquiere temple o endurecimiento más o menos profundo), que a su vez depende fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.

#### **Revenido:**

El revenido es un tratamiento complementario del temple, que generalmente prosigue a este. Después del temple los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos los cuales están destinados. Lo anterior se puede corregir con el proceso de “revenido”, ya que disminuye la dureza y la fragilidad excesiva, sin perder demasiada tenacidad (La tenacidad es la conjunción de dos propiedades; ductilidad y resistencia, es decir que un material tenaz es aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo).

Es muy importante dejar claro que con la realización del proceso de revenido no se eliminan los efectos del temple, solo se modifican, ya que se consigue disminuir la dureza y tensiones internas para lograr de esta manera aumentar la tenacidad. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2008, págs. 7, 8)

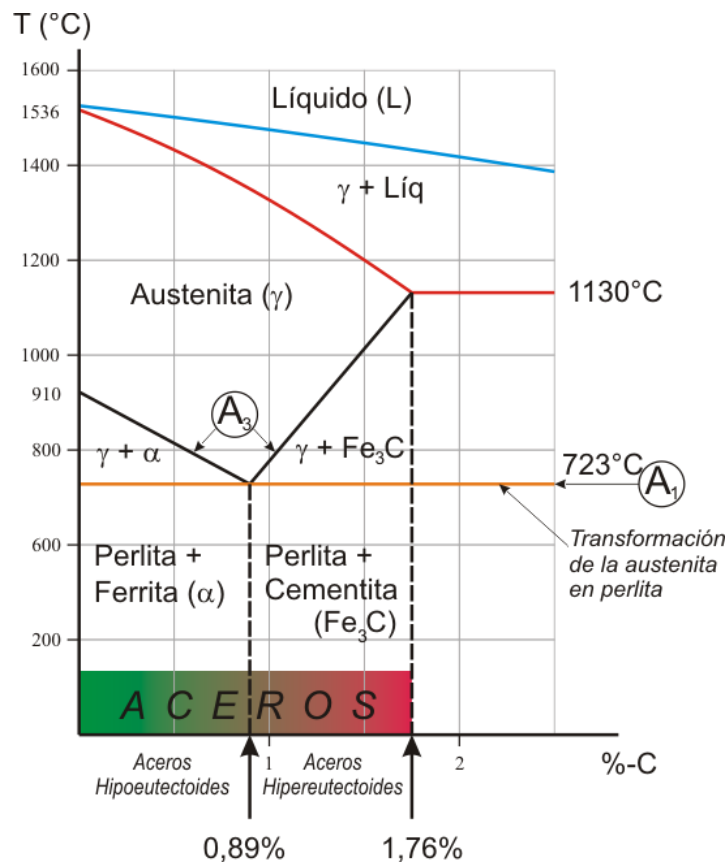
## **III.2 Calentamiento**

Esta es la primera etapa del tratamiento térmico, es muy importante realizarlo de manera gradual a fin de que no existan grandes diferencias entre las diferentes zonas de una misma pieza o una misma carga del horno. Las tensiones generadas durante el calentamiento de zonas de distinta sección, pueden causar fracturas durante el calentamiento. Estas tensiones son generadas debido al cambio de fase que experimenta el acero durante el calentamiento. Cuando el acero cruza la zona o temperatura crítica no corre peligro si la diferencia de temperaturas entre el núcleo y la superficie es pequeña. En piezas donde la sección es muy pesada y la superficie alcanza la temperatura crítica o de cambio de fase, se genera un esfuerzo de tensión, causado por la concentración de la superficie mientras el núcleo se dilata.

Los aceros de aleación tienen un papel muy importante, ya que pueden modificar el comportamiento del acero durante el calentamiento, en especial el contenido de carbono, ya que al haber una mayor proporción de perlita o constituyente eutectoide, el acero tendrá un comportamiento menos plástico, a diferencia de los aceros de bajo carbono, donde pueden utilizarse velocidades de calentamiento más altas. (Nava Ruiz, 2016, págs. 16, 17)

### III.3 Mecánica del calentamiento

La transformación durante el calentamiento es la siguiente; cuando el acero alcanza la temperatura de transformación cerca de los 723 °C ( $A_{c1}$ ) (figura 3.1.) la perlita presente comienza a transformarse en austenita, por lo que cambia la estructura cristalina del hierro de la perlita de hierro alfa a hierro gamma, y el acero que se estaba dilatando se contrae súbitamente. A medida que esta contracción tiene lugar a lo largo de toda la masa de la pieza y termina, el acero se vuelve a dilatar. (Nava Ruiz, 2016, pág. 18)



**Figura 3.1.** Diagrama Hierro-Carbono

### **III.4 Mecánica de empape**

Se le llama tiempo de empape, temperatura de empape o mecánica de empape, a la parte del proceso de tratamiento térmico, en la que se asegura que todas las secciones de la pieza o de la carga, se encuentran a la misma temperatura o temperatura de proceso. La duración del calentamiento depende de la masa de la pieza o de la carga, de la temperatura elegida para el proceso, del tipo de acero así como del estado de la superficie y por último del horno empleado. (Nava Ruiz, 2016, pág. 20)

#### **III.4.1 Factores que influyen en la mecánica de empape**

**-Masa de la pieza:** Es fácil comprender que la capa superficial de una pieza de acero, alcanzará la temperatura rápidamente. La capa siguiente no se calienta a la misma velocidad, y así como el resto de las capas adyacentes de las cuales tienen una conductividad limitada, además de que la distancia que recorre el calor es cada vez mayor. Así las secciones más pesadas requerirán de tiempos de empape mayores, mientras que las más ligeras necesitaran tiempos menores.

**-Temperatura de proceso:** La conductividad del calor es más alta cuando se utiliza una temperatura alta, pero no es recomendable hacerlo a la temperatura más alta del intervalo de temperatura de temple para un acero específico debido a que se provoca el crecimiento de grano, por lo que es mejor manejar temperaturas relativamente bajas a fin de evitar los efectos adverso del crecimiento de grano.

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

**-Tipo de acero:** A partir de la temperatura crítica de transformación, el calor requerido para llevar a cabo dicha transformación es mayor por lo que será necesario utilizar un tiempo mayor. En los aceros para herramientas, inoxidables de alta aleación, el tiempo será mayor debido a que los elementos como el Cr, Mo, W, Ni; tienen un comportamiento refractario y requerirán de aproximadamente el doble de tiempo para uniformizar la temperatura.

**-Estado superficial de las piezas:** Las superficies brillantes tardarán de dos a tres veces más tiempo en calentarse que las superficies rugosas u opacas. Esto es debido a que, parte de la radiación térmica que incide en el acero se refleja y otra parte se absorbe y se transmite al interior del material. En las superficies rugosas la energía se refleja en forma difusa y los cuerpos absorben más energía que los brillantes.

**-Horno empleado:**

Hornos de resistencias o tubos radiantes; el calor se transmite por radiación, se calienta primero el aire en donde es más lento y luego hacia la pieza. El flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura.

Hornos de gas o de sales y de lecho fluidizado; el calor se transmite por conducción, es decir, el calor se propaga por la comunicación molecular directa y esto disminuye el tiempo de calentamiento. (Nava Ruiz, 2016, págs. 21, 22, 23, 24, 25)

### III.5 Enfriamiento

El diagrama TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación) muestra como la velocidad de enfriamiento afecta la transformación de Austenita en varias fases posibles, las cuales pueden ser:

- 1.- Formas alternativas de Ferrita y Cementita.
- 2.- Martensita.

El tiempo se presenta logarímicamente a lo largo del eje horizontal y la temperatura en el eje vertical. Esta curva se interpreta del tiempo  $t_0$  (pocos segundos transcurridos) en la región Austenita y continúa hacia abajo y a la derecha a lo largo de la trayectoria que muestra cómo se enfría el metal en función del tiempo. Figura 3.2.

Los tiempos de transformación dependen de la aleación del material. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2008)

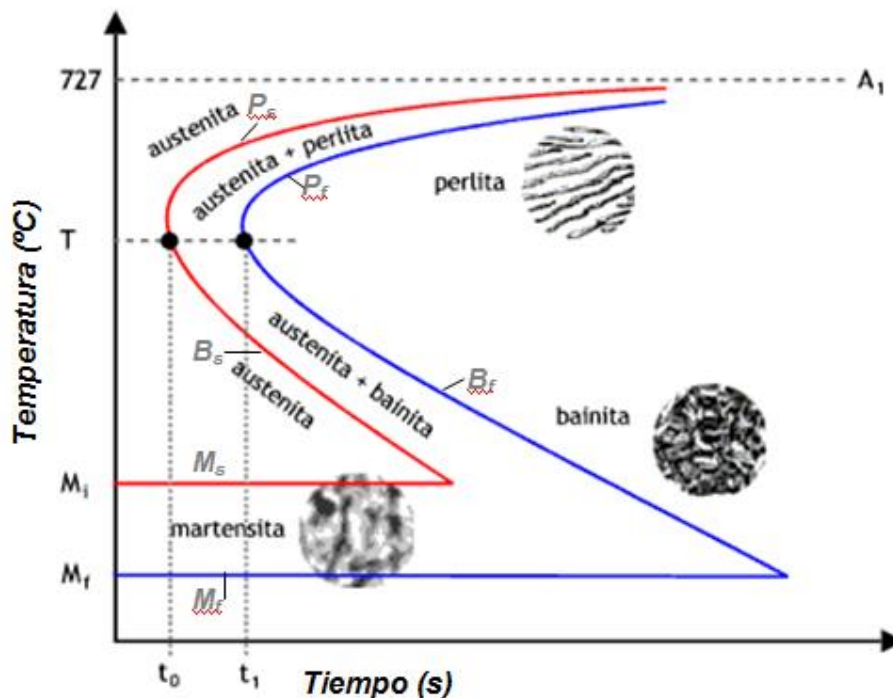


Figura 3.2. Diagrama TTT para un acero

Abreviaturas y códigos de la gráfica:

**P<sub>s</sub>** = Representa el momento en el cual se produce Perlita gruesa.

**P<sub>f</sub>** = Representa el momento en el cual se produce Perlita fina.

**M<sub>s</sub>** = Representa el momento en el cual se produce Martensita gruesa.

**M<sub>f</sub>** = Representa el momento en el cual se produce Martensita fina.

**B<sub>s</sub>** = Momento de inicio de la transformación a la Bainita.

**B<sub>f</sub>** = Momento de la finalización de la transformación Bainita

### **III.5.1 Etapas de enfriamiento**

Para conocer la eficacia de los diversos medios de enfriamiento, es preciso conocer la serie de fenómenos que tienen lugar desde que se introduce la pieza en el medio refrigerante, hasta que se alcanza la temperatura final, y la influencia que éstos ejercen en la velocidad de enfriamiento. En general pueden considerarse tres etapas, perfectamente definidas durante el enfriamiento.

-ETAPA A.- Cuando se introduce una pieza de acero, calentada a la temperatura de austenización, en un líquido refrigerante cuya temperatura de ebullición es muy inferior a la temperatura de la pieza, al ponerse en contacto, se forma instantáneamente, en la superficie de separación de ambas, una capa de vapor que rodea al metal y lo aísla del líquido, verificándose el enfriamiento por radiación y conducción a través de la capa gaseosa (las burbujas de vapor dificultan la transmisión de calor). La velocidad de enfriamiento en esta etapa es bastante baja, debido a que el coeficiente de película ( $A$ ) también lo es, y la transmisión del calor desde el interior de la pieza al medio exterior tiene lugar gracias al elevado gradiente de temperatura acero-líquido. El valor del coeficiente de película en esta etapa depende del calor de vaporización del líquido, de las capacidades caloríficas del vapor y del líquido y de la temperatura de ebullición, que en esta fase es la más importante. En el agua este coeficiente es inferior que en el aceite.

-ETAPA B.- Conforme va disminuyendo la temperatura en la superficie de la pieza, disminuye también el espesor de la capa de vapor que rodea a la misma y, en ciertos puntos, el líquido en forma de gotitas llegará a ponerse en contacto con el acero. Este contacto es sólo momentáneo, puesto que la gota se vaporiza tan pronto como toca el acero, desplazándose las burbujas por gravedad y convección; se establece así una serie de contactos ininterrumpidos líquido acero, que dan origen a una velocidad de enfriamiento mucho más elevada que en la etapa anterior, pues a pesar de ser menor el gradiente de temperaturas acero-líquido, el valor del coeficiente de película (A) es mucho más elevado que el anterior. Al desprenderse las burbujas e iniciarse corrientes de convección en el líquido, la transmisión de calor es rápida (A aumenta). La temperatura a la cual tiene lugar la transición de la etapa "A" a la "B" es tanto más elevada cuanto mayor es la temperatura de ebullición del líquido. El valor del coeficiente de película en esta etapa depende de la viscosidad del líquido, agitación del baño o de la pieza (según tamaño) y, principalmente, del calor de la vaporización. La capacidad de enfriamiento del agua en esta etapa es muy elevada.

-ETAPA C.- Se llega a esta etapa cuando la superficie de la pieza se ha enfriado tanto, que alcanza la temperatura de ebullición del líquido refrigerante. En esta etapa existe un contacto íntimo pieza-líquido, de forma que el calor perdido por la pieza pasa directamente al líquido a través de la intercara, sin llegar a producir vaporización. Ahora la velocidad de enfriamiento es muy pequeña, pues aun cuando el coeficiente de película (A) es muy elevado, el gradiente de temperatura es muy bajo, ya que el enfriamiento se realiza por conducción y convección del líquido. En estas condiciones el coeficiente de película depende de la capacidad calorífica del líquido, de su grado de agitación y, principalmente, de su conductibilidad calorífica.

### **III.6 Tipos de aceite para enfriamiento**

Los aceites empleados en los temple pueden ser de dos tipos:

-Aceites convencionales: Son aquellos que no contienen aditivos que alteren sus características de enfriamiento. Los aceites convencionales son fracciones producidas por destilación de aceites crudos y seleccionados según sus viscosidades.

-Aceites de temple rápido: Es un aceite de enfriamiento acelerado, recomendable para usarse a temperaturas de hasta 82 °C. Está hecho a base de aceite de base parafínico (compuesto orgánico) refinado como solvente de especialidad para minimizar la oxidación y asegurar un rendimiento consistente bajo las más arduas condiciones de operación.

### **III.7 Propiedades de los aceros**

Los últimos 100 años, se han caracterizado por la masiva utilización de acero. El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se quiere dar al producto.

Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad
- Dureza
- Resistencia
- Maleabilidad
- Tenacidad

La primera de ellas, la **ductilidad**, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.

La **dureza** se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

Analizando el caso de la **resistencia**, específicamente el de la resistencia a la tracción tendremos que esta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.

La **maleabilidad** es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de comprensión.

Finalmente, la tenacidad viene siendo la conjugación de dos propiedades; ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determina con que propiedad cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar que material es el que emplearemos para determinados productos.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, destacaremos los mas utilizados:

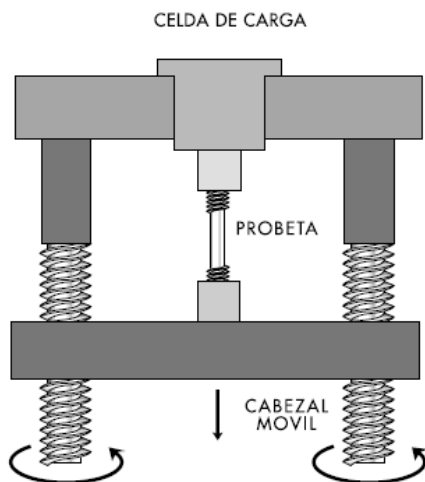
- Ensayo de tracción
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto

(Gerdau Aza S.A, 2000, pág. 6)

### III.8 Ensayos mecánicos

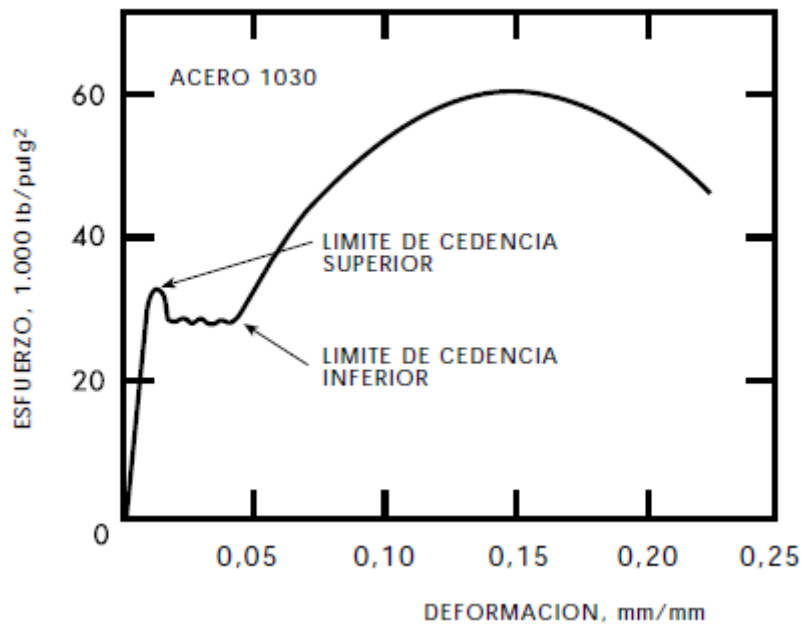
-Ensayo de tracción: Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo.

Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta. (Figura 3.3.)



**Figura 3.3.** Muestra un esquema de una máquina para ensayos de tracción. En ellas se estira la probeta a una velocidad constante

Con los resultados de la elongación de la probeta, se puede graficar una curva de carga contra alargamiento, que generalmente se registran como valores de esfuerzo y deformación unitarios, y son independientes de la geometría de la probeta. (Figura 3.4.)



**Figura 3.4.** Grafica esfuerzo-deformación

Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, no recuperable. En otras palabras, el material no recupera su longitud inicial si se elimina la carga aplicada.

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de resistencia máxima a la tensión. En este valor de esfuerzo, se forma en la probeta una estricción o cuello, la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior.

Una vez formado este cuello, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la probeta se rompe (figura 3.5.). (Gerdau Aza S.A, 2000, págs. 7, 8)



**Figura 3.5.** Máquina universal para ensayos de tracción

Los resultados de esta prueba se obtienen por medio de estas fórmulas figura 3.6.

$$\text{Limite elastico (N/mm}^2\text{)} = Le = \frac{Fe}{Ai}$$

$$\text{Resistencia a la tensión (N/mm}^2\text{)} = Rt = \frac{Ft}{Ai}$$

$$\% \text{ de elongación} = \%E = \frac{(Lf - Li)}{Li} * 100$$

$$\% \text{ de reducción de área} = \%Ra = \frac{(Ai - Af)}{Ai} * 100$$

**Figura 3.6.** Fórmulas para cálculos del ensayo de tracción

-Ensayo de dureza: El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla. Este penetrador es también llamado durómetro.

El durómetro usualmente consta de una bolita, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el acero que se está midiendo llamado indentador (Figura 3.7.).



**Figura 3.7.** Indentador (Para dureza Brinell)

La profundidad hasta la cual penetra este material nos entrega un valor, el que está tabulando, obteniéndose así una medida de la dureza del acero.

Su uso está ampliamente extendido, especialmente dentro de las áreas de conformado y de tratamiento térmico de los aceros. Una utilización práctica, es la de dar una buena correlación entre las medidas que entrega y otras propiedades que pueden medirse directamente, como la penetración del temple de un acero.

Dado que el ensayo de dureza puede hacerse fácilmente, la información obtenida puede ser evaluada inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo se le usa ampliamente para control de calidad en producción.



**Figura 3.8.** Durómetro

Los ensayos de dureza más utilizados en el campo ingeniería, son el Rockwell y el Brinell.

**-Dureza Brinell**

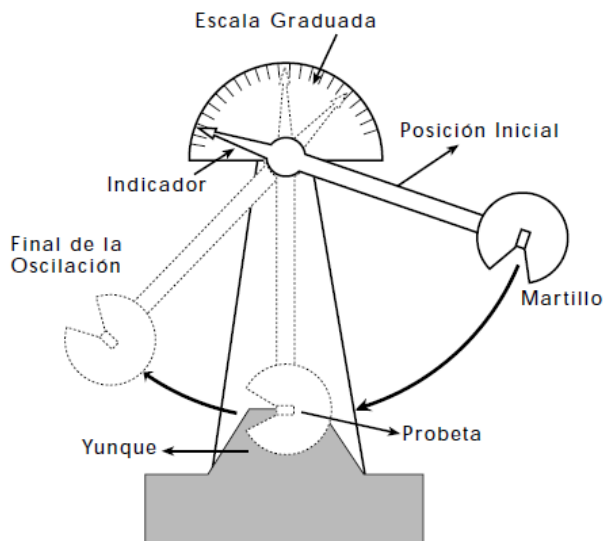
En él, una esfera de 10 mm de diámetro, usualmente de un acero endurecido, se presiona contra la superficie del material bajo una carga estática de 3.000 kg. El tamaño de la huella nos entrega una medida de la dureza bajo las condiciones del ensayo.

**-Dureza Rockwell**

A diferencia del anterior, en el test de Rockwell se aplica primero una carga pequeña (de menos de 10 kg), lo que hace que el indentador penetre hasta una cierta profundidad. Luego se aplica la carga mayor predeterminada. La diferencia en la penetración nos entrega una medida de la dureza del acero. (Gerdau Aza S.A, 2000, págs. 8, 9)

**-Ensayo de impacto:** Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, producto del cual ésta se rompe muy rápidamente (Figura 5.9.). Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios. Existen dos tipos de ensayo que han alcanzado gran difusión: Charpy e Izod. (Gerdau Aza S.A, 2000, pág. 10)



**Figura 3.9.** Esquema de la maquina Charpy para el ensayo de impacto

### III.9 Datos de los hornos de tratamiento térmico y especificaciones del producto a evaluar

Diagrama de etapas del proceso de tratamiento térmico.



- **Horno de Temple**

-Número de cestos: 26

-Tiempo de partida de cada cesto: 485 segundos (8.083 minutos)

-Número de zonas de calentamiento: 4 (10 Quemadores)

-Descripción Zonas:

Zona 1

Quemador 1, 2,3 y 4

Temperatura alcanzada: 100 °C abajo de la temperatura programada en las zonas 2, 3 y 4 porque abre y cierra la puerta de entrada de carga.

Zona 2

Quemador 5 y 6

Temperatura alcanzada: Max. 1000°

Zona 3

Quemador 7 y 8

Temperatura alcanzada: Max. 1000°

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

Zona 4

Quemador 9 y 10

Temperatura alcanzada: Max. 1000°

-Número de bandejas por zona: No es posible determinar, pero se muestra en figura 3.10 cómo es la distribución de las bandejas en función de los quemadores.

(Nota: Las zonas de los hornos se determinaron en función de los quemadores)

-Capacidad de la fosa de aceite 17000Lt.

-Tipo lo aceite utilizado para temple: Aceite de temple rápido.

Piezas sumergidas en el aceite 395 segundos

Marca: Houghto-Quench K; Cuenta con un paquete de aditivos cuidadosamente formulados para reducir la duración de la etapa de enfriamiento con una manta de vapor y ofrece características de enfriamiento acelerado, junto con una excelente resistencia a la oxidación y estabilidad térmica

-La fosa cuenta con dos motores (bombas centrifugas) para la recirculación y agitación del aceite, con las siguientes características:

WEG Motores LTDA

1770 rpm

60Hz

50 Amperios

-Un ventilador (turbina de aire), función; Es un extractor de aire que lo expulsa dentro del horno para eficiencia de la combustión.

-Cada zona del horno cuenta con un regularizador de combustión (gas, aire) y su temperatura es medida por un "Termopar".

-Capacidad horno: 1500 kg/hr.

- **Horno de Revenido**

-Número de cestos: 39

-Tiempo de partida de cada cesto 485 segundos (8.083 minutos)

-Número de zonas de calentamiento: 5 (14 Quemadores)

-Descripción Zonas:

Zona 1

Quemador 1, 2,3 y 4

Temperatura alcanzada: 100 °C abajo de la temperatura programada en las zonas 2, 3,4 y 5 porque abre y cierra la puerta de entrada de carga.

Zona 2

Quemador 5, 6,7 y 8

Temperatura alcanzada: Max. 750 °C

Zona 3

Quemador 9 y10

Temperatura alcanzada: Max. 750 °C

Zona 4

Quemador 11 y 12

Temperatura alcanzada: Max. 750 °C

Zona 5

Quemador 13 y 14

Temperatura alcanzada: Max. 750 °C

-Número de bandejas por zona: No es posible determinar, pero se muestra en figura 3.10 cómo es la distribución de las bandejas en función de los quemadores.

(Nota: Las zonas de los hornos se determinaron en función de los quemadores)

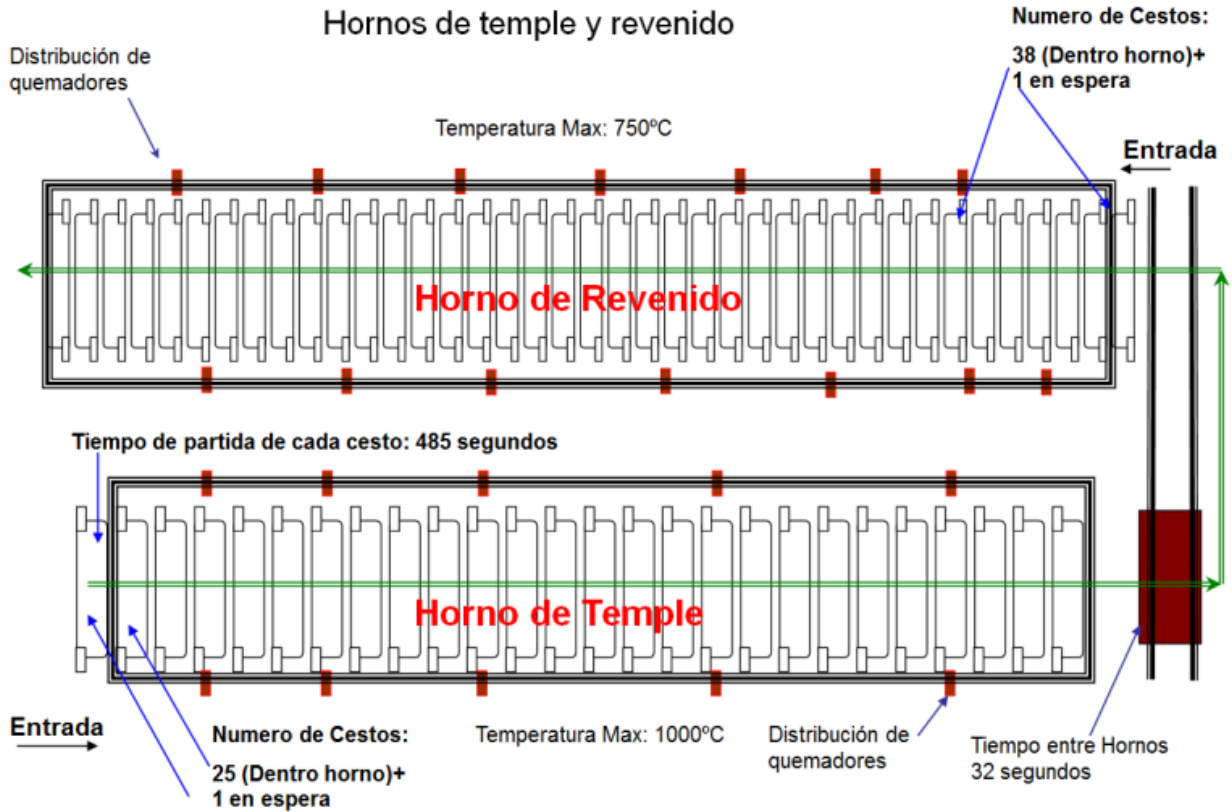
-Un ventilador (turbina de aire), función; Es un extractor de aire que lo expulsa dentro del horno para eficiencia de la combustión.

-Cada zona del horno cuenta con un regularizador de combustión (gas, aire) y su temperatura es medida por un "Termopar".

-Recubrimiento interno refractario.

-Capacidad horno: 1500 kg/hr

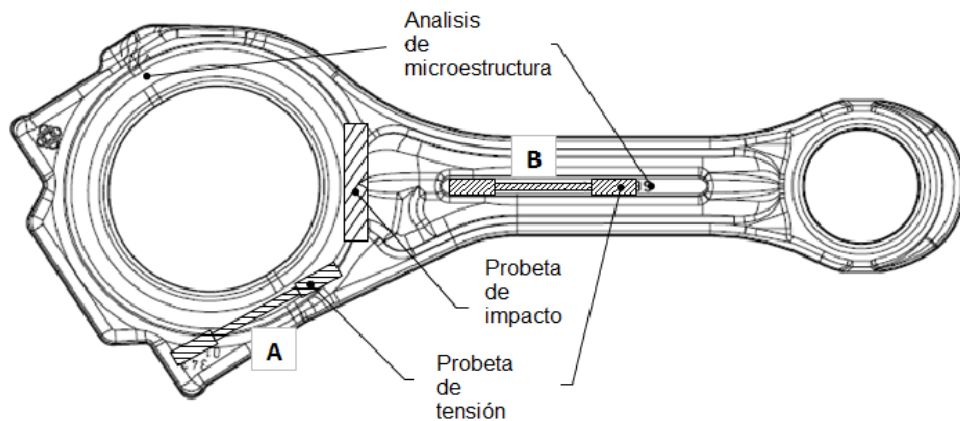
**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**



**Figura 3.10.** Ilustración de la distribución de los quemadores de los hornos de temple y revenido y la posición de bandejas por zonas, también se observa el carro transportador de material entre hornos

### III.10 Datos y especificaciones de las piezas tratadas térmicamente

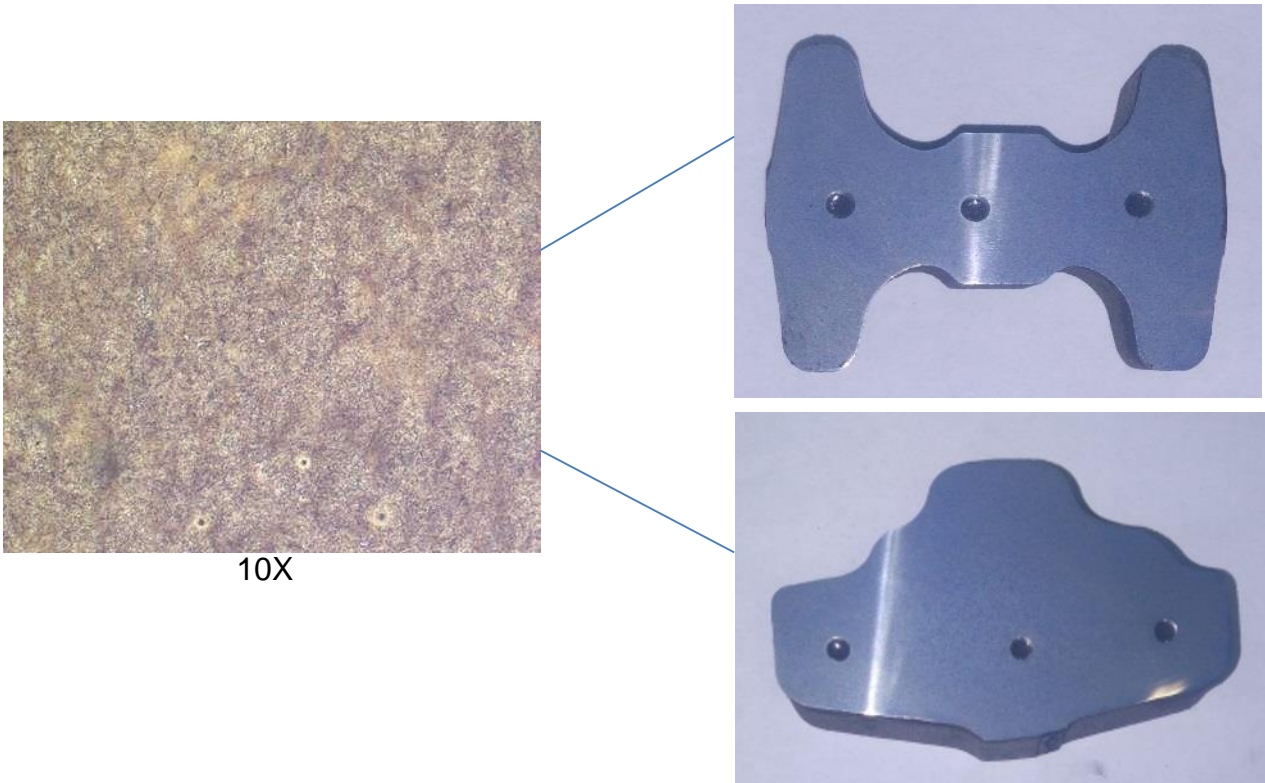
Producto:	Biela (Figura 3.11.)
Cliente:	Perkins
Tipo de acero:	42CrMo4
Peso:	10.800 Kg
Dureza (Superficial y núcleo):	248-302 HB (Figura 3.12.)
Tipo de microestructura:	Martensita Distencionada (Figura 3.13.)
Descarbonizacion parcial, total:	Máximo 0.3mm
Resistencia a la tensión:	900-1100 (N/mm <sup>2</sup> ) (Figura 3.14.)
Limite elástico:	Mínimo 650 (N/mm <sup>2</sup> ) (Figura 3.14.)
% de elongación:	Mínimo 12% (Figura 3.14.)
% de reducción de área:	Mínimo 50% (Figura 3.14.)
Resistencia al Impacto:	Mínimo 35 (Joules) (Figura 3.14.)
Tipo de tratamiento térmico:	Templar y Revenir
Temperatura Horno Temple:	800 – 880 °C
Medio de enfriamiento (Temple)	Aceite
Temperatura Horno Revenido:	590 - 650 °C
Medio de enfriamiento	Aire (Después del proceso de revenido)



**Figura 3.11.** Biela: Secciones para análisis de microestructura y ensayos mecánicos



**Figura 3.12.** Medición de dureza superficial y de núcleo de acuerdo a las secciones para análisis, ver Figura 3.11



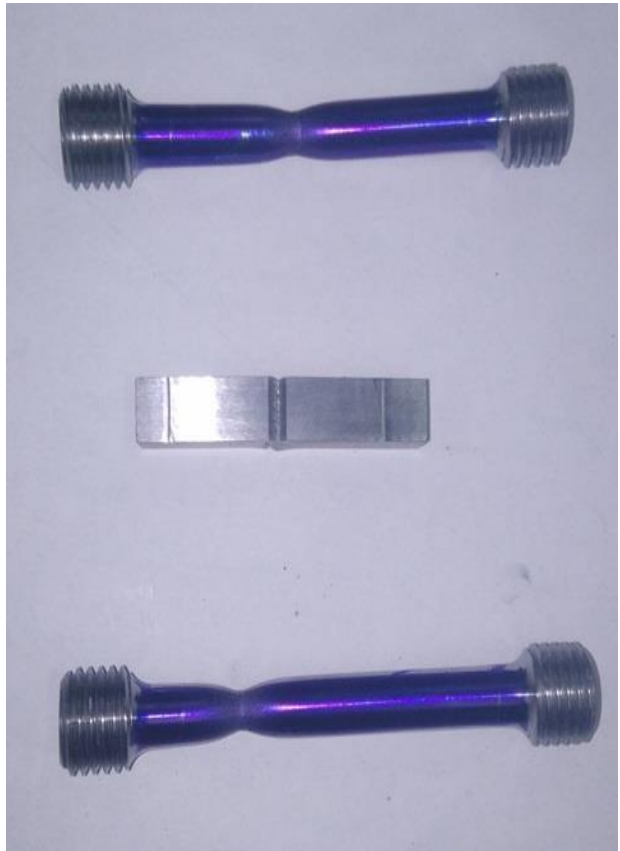
**Figura 3.13.** Martensita distencionada de acuerdo a las secciones para análisis, ver Figura 3.11. Se realiza análisis de microestructura, haciendo cortes con sierra de cinta en las secciones acuerdo a la especificación metalúrgica, haciendo un pulido a espejo y aplicando un ataque “Nital” (Solución química entre Alcohol etílico 95% y ácido nítrico 5%)

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

Cortes para fabricación de  
probetas



Probetas de tensión y de impacto  
para ensayos mecánicos.



Resultados:

Dureza probeta 248-302	283	288
Resistencia a la tensión (N/mm <sup>2</sup> ) 900-1100	924.82	939.83
Límite elástico (N/mm <sup>2</sup> ) Min 650	803	828
%Elongación Min. 12	17.04	17.02
%Reducción de área Min.50	59.93	58.80
Impacto (Joules) 35	54 J	/

Los resultados observados  
cambiarán según la variación de  
dureza de cada proceso.

**Figura 3.14.** Ejemplo de ensayos mecánicos colada "LT"

### **III.11 Procedimiento de liberación metalúrgica de Set-Up de piezas con tratamiento térmico**

#### **1. Responsabilidades:**

- ICP FO\*: Es responsabilidad del departamento la actualización de este documento (CM).
- Producción: El operador de Tratamiento Térmico es responsable de mantener y operar los hornos dentro de los parámetros establecidos.
- Laboratorio Metalúrgico: Liberar el proceso (set-up) de acuerdo con la Hoja de Especificación Metalúrgica y monitorear dureza superficial de las piezas durante el proceso.
- Mantenimiento: Garantizar el óptimo funcionamiento del equipo.
- Ingeniería Forja: Establecer y proporcionar los parámetros del proceso.

#### **2. Definiciones:**

- Austenizado: Es la zona donde la pieza alcanza una temperatura óptima para poder templarse (850°C).
- Temple: Es el intercambio de energía entre un acero aleado que está a una temperatura de austenización (850°C) y es sometido a un enfriamiento rápido (aceite a 70-75°C), con la finalidad de obtener las propiedades mecánicas (dureza, resistencia, microestructura).
- Revenido: Es el alivio de tensiones y homogenización de la dureza a temperaturas de 500-650°C.
- Set-up: Liberación del proceso con pruebas, análisis destructivos y no destructivos.
- TT: Tratamiento Térmico.
- CM: Control Metalúrgico.
- ICP FO: Inspección y Control de Procesos Forja.

### **3. Procedimiento:**

-Inicio de Producción.

-Logística o Producción - Tratamiento Térmico (TT):

Informan a ICP FO/Laboratorio Metalúrgico el inicio de la producción del nuevo producto a tratar.

-Laboratorio Metalúrgico:

En base al histórico de tratamiento térmico (CM's) o a la tabla de referencia "parámetros de proceso para tratamiento térmico", Informa las condiciones de Tratamiento Térmico.

-Producción - TT

Efectúa los ajustes en el horno, procesa 1 bandeja de prueba de acuerdo con la información del Laboratorio Metalúrgico y envía 1 muestra para aprobación.

-Laboratorio Metalúrgico

Evalúa la pieza de acuerdo con la Hoja de Especificación Metalúrgica y emite un resultado para TT a través del reporte CM (Figura 3.16.).

-Producción TT

Muestras aprobadas:

Producción-TT procesa toda la colada dentro de los establecidos en el CM.

Muestras reprobadas:

Producción-TT efectúa pruebas con nuevos parámetros discutidos con el Laboratorio Metalúrgico e inicia nuevamente el ciclo de aprobación.

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

-Cambio de colada o corrida

Producción TT:

Mete una prueba de 2 piezas con la colada en proceso, con los parámetros que en este momento están en los hornos y envía muestras para Laboratorio Metalúrgico.

Laboratorio Metalúrgico

Evalúa la pieza de acuerdo con la Hoja de Especificaciones Metalúrgicas y emite un resultado para TT a través del reporte de CM.

Producción–TT

Muestras aprobadas:

Producción-TT procesa toda la colada dentro de los parámetros establecidos en el CM.

Muestras reprobadas: Producción-TT efectúa pruebas con nuevos parámetros discutidos con el Laboratorio e inicia nuevamente el ciclo de aprobación.

-Control de Proceso

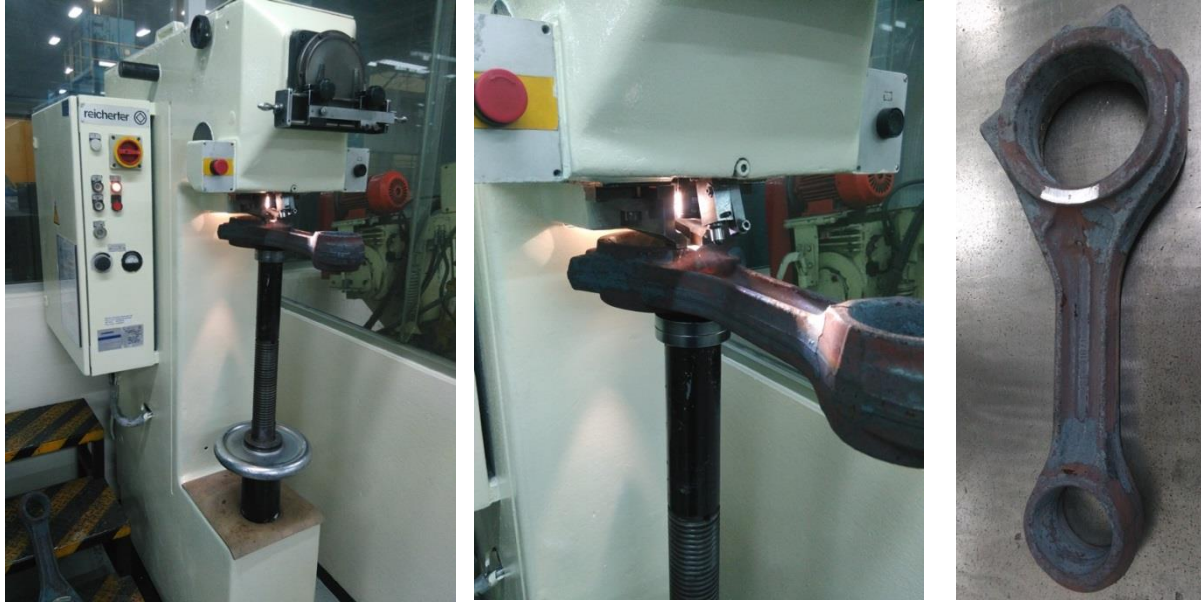
Producción-TT

Monitorea y mantiene los parámetros de proceso conforme CM.

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

Laboratorio Metalúrgico

Monitoreará dureza superficial conforme Hoja de Especificaciones Metalúrgica, de ser necesario solicitar se realicen los ajustes correspondientes. Figura 3.15.



**Figura 3.15.** Monitoreo y medición de dureza

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

<b>ThyssenKrupp Metalúrgica de México</b>			No CM	<b>611</b>
<b>Control Metalúrgico ICP-Forja</b>			Diseño:	7.40.020176.000
No de KR	20176	Material	42CRMO4	
Símbolo de colada	LP	Colada de acero	74102270	
Cantidad aprobar	2	Diámetro	94.00mm	

<b>Ensayos requeridos</b>	<b>Etapas del control</b>	<b>Temperatura de forja</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Dureza	<input checked="" type="checkbox"/> Liberación de Set-Up	
<input checked="" type="checkbox"/> Microestructura	<input type="checkbox"/> Ajuste de Magnatest	
<input type="checkbox"/> Ensayos Mecánicos	<input type="checkbox"/> Pieza aleatoria	<b>Enfriamiento Controlado</b>
<input type="checkbox"/> Impacto	<input type="checkbox"/> Pruebas	Ventilación
<input type="checkbox"/> Almen Strip	Otros:	Vel. del transportador
<input type="checkbox"/> Tensión Residual		Tapas
<input type="checkbox"/> Otros:		Observaciones:

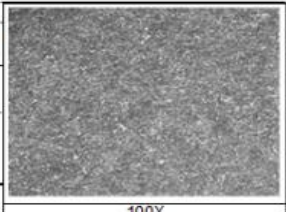
<b>Información Tratamiento Térmico</b>			<b>Ajuste de Magnatest</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Templado	<input checked="" type="checkbox"/> Temperatura Revendido		No Curvas	
Temperatura teórica z- 1	880°C	Temperatura teórica z-1	620 °C	1
Temperatura teórica z- 2	880°C	Temperatura teórica z-2	620 °C	2
Temperatura teórica z- 3	880°C	Temperatura teórica z-3	620 °C	3
Temperatura teórica z- 4	880°C	Temperatura teórica z-4	620 °C	4
Temperatura aceite	<b>72°C</b>	Temperatura teórica z-5	620 °C	
			Responsable Ajuste:	

**RESULTADOS**

<b>Dureza 248- 302 HB</b>		<b>Ensayos Mecánicos</b>		<b>Referencias:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Superficial Pza	274	<input checked="" type="checkbox"/> Dureza probeta 248-302	280	285
	280	<input checked="" type="checkbox"/> RT(N/mm²) 900-1100	919.36	926.24
		<input checked="" type="checkbox"/> LE(N/mm²) Min 650	793	815
<input checked="" type="checkbox"/> Núcleo Pza L-Haste	278-285-280	<input checked="" type="checkbox"/> %EL Min. 12	21.55	20.65
	277-285-280	<input checked="" type="checkbox"/> %RA Min. 50	60.16	52.18
		<input checked="" type="checkbox"/> Impacto(Joules) 35	41 J	
<input checked="" type="checkbox"/> Núcleo Pza L-Cigüeñal	285-285-285	<input checked="" type="checkbox"/> Tensión Residual min - 30 ksi		
	285-285-288	<input checked="" type="checkbox"/> Almen Strip		

<b>Microestructura- Lado Haste</b>		<b>Microestructura- Lado Cigüeñal</b>		
<input checked="" type="checkbox"/> Martensita Distencionada	Martensita Distencionada	<input checked="" type="checkbox"/> Martensita Distencionada	Martensita Distencionada	
<input checked="" type="checkbox"/> Descarbonizacion Parcial Max. 0.3mm	0.15	<input checked="" type="checkbox"/> Descarbonizacion Parcial Max. 0.3mm	0.11	
<input checked="" type="checkbox"/> Descarbonizacion Total Max. 0.1mm	0.00	<input checked="" type="checkbox"/> Descarbonizacion Total Max. 0.1mm	0.00	

**Observaciones:** Se bajan 10°C al horno de revenido para mejorar dureza.

Analizado por:  
David Gomez H.

**Resultado Final: Aprobado**

NKM 7.15.02 03/05/2010

**Figura 3.16.** Control metalúrgico emitido por laboratorio

### **III.12 Antecedentes**

En el transcurso del año 2017 se llevó acabo por parte del departamento Calidad “Laboratorio metalúrgico” un monitoreo de dureza superficial como lo dice el procedimiento de liberación metalúrgica de Set-Up de piezas con tratamiento térmico, el cual fue registrado en una base de datos de distribución de frecuencias (documento de Excel), de las ultimas 4 coladas procesadas. **(No anexadas)**

Datos con los cuales se implementará el SPC (control estadístico del proceso) y se hará el análisis y la interpretación correspondiente.

## Capítulo IV. Control estadístico del proceso (SPC)

### IV.1 Definiciones

**Control:** Significa mantener un proceso dentro de ciertos límites que permitan que el resultado obtenido corresponda a las metas fijadas durante su planeación.

**Estadística:** Es la ciencia que se encarga de recopilar, organizar, representar, analizar, extraer y generalizar la información contenida en un conjunto de datos.

**Proceso:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman las entradas en salidas.

**SPC** (Control Estadístico de Proceso): Es un conjunto de herramientas que permite resolver problemas de calidad, muy útil para conseguir la **estabilidad** y mejorar la capacidad del proceso mediante la reducción de **variabilidad**.

En otras palabras es una técnica que permite aplicar el análisis estadístico para medir, monitorear y controlar procesos por medio de cartas de control. Su propósito es la detección oportuna de la ocurrencia de causas especiales, para tomar acciones correctivas antes de que se produzcan unidades defectivas o no conformes, para lo cual se utilizan las cartas de control en línea, permitiendo también la estimación de la capacidad o habilidad del proceso y la reducción continua de la variabilidad hasta donde sea posible.

**Variación:** Se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso, es decir no existen dos productos, procesos o características que sean exactamente iguales.

-Las diferencias pueden ser enormes o diminutas.

- Estas diferencias, que siempre están presentes son llamadas “variaciones”

(Instituto para Formación y Desarrollo Volkswagen, 2007)

## IV.2 ¿Por que usar El SPC?

Haciendo uso de las “*Core Tools*” y apegándose a los lineamientos de ISO/TS 16949, la aplicación del “*Control Estadístico del Proceso*” es por prevención el cual hace eficiente la detección de fallas rápidamente antes de que ocurran desechos o retrabajos, mejorando la Calidad, consecuentemente disminuyendo el costo del producto. El método por **PREVENCIÓN** garantiza la Calidad del producto, porque las fallas son eliminadas gradualmente. (Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen, 2007)

### IV.2.1. Beneficios de las gráficas de control

Beneficios importantes pueden obtenerse del uso efectivo de gráficas de control. Las ganancias y beneficios de las gráficas de control están directamente relacionadas a lo siguiente:

- Enfoque de la organización sobre reducción de la variación
- Aplicación del SPC para promover el entendimiento de la variación en los procesos de ingeniería
- Aplicación del SPC a datos de administración y usar la información en la toma de decisiones día-a-día.

(Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, Julio 2005, pág. 37)

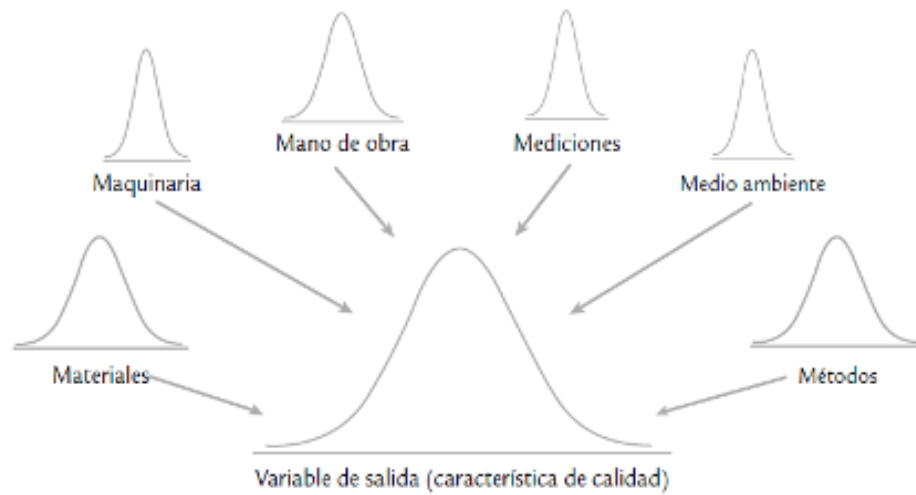
## IV.3 Concepto de variabilidad

Una de las tareas clave del control estadístico no sólo es conocer la tendencia central del proceso (media), sino también su variabilidad.

Los motivos de la variación en un proceso industrial, automotriz interactúan Materiales, Maquinas, Mano de obra (gente), Mediciones, Medio ambiente y Métodos. Estos seis elementos (las 6 M) determinan la manera global de todo el proceso y cada uno aporta algo de variabilidad y de la calidad de la salida del proceso como se esquematiza en la figura 4.1.

El resultado de todo el proceso se debe a las acciones conjuntas de las 6 M, por lo tanto si hay algún cambio significativo en el desempeño del proceso, sea accidental u ocasionado, su razón se encuentra en una o más de las 6 M.

Es necesario conocer la variación de cada una de las 6 M y buscar reducirla monitoreando de manera constante para ir descartando características o condiciones de operación.



**Figura 4.1.** “6 M variación de un proceso“

(Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar , 2009, págs. 11, 12)

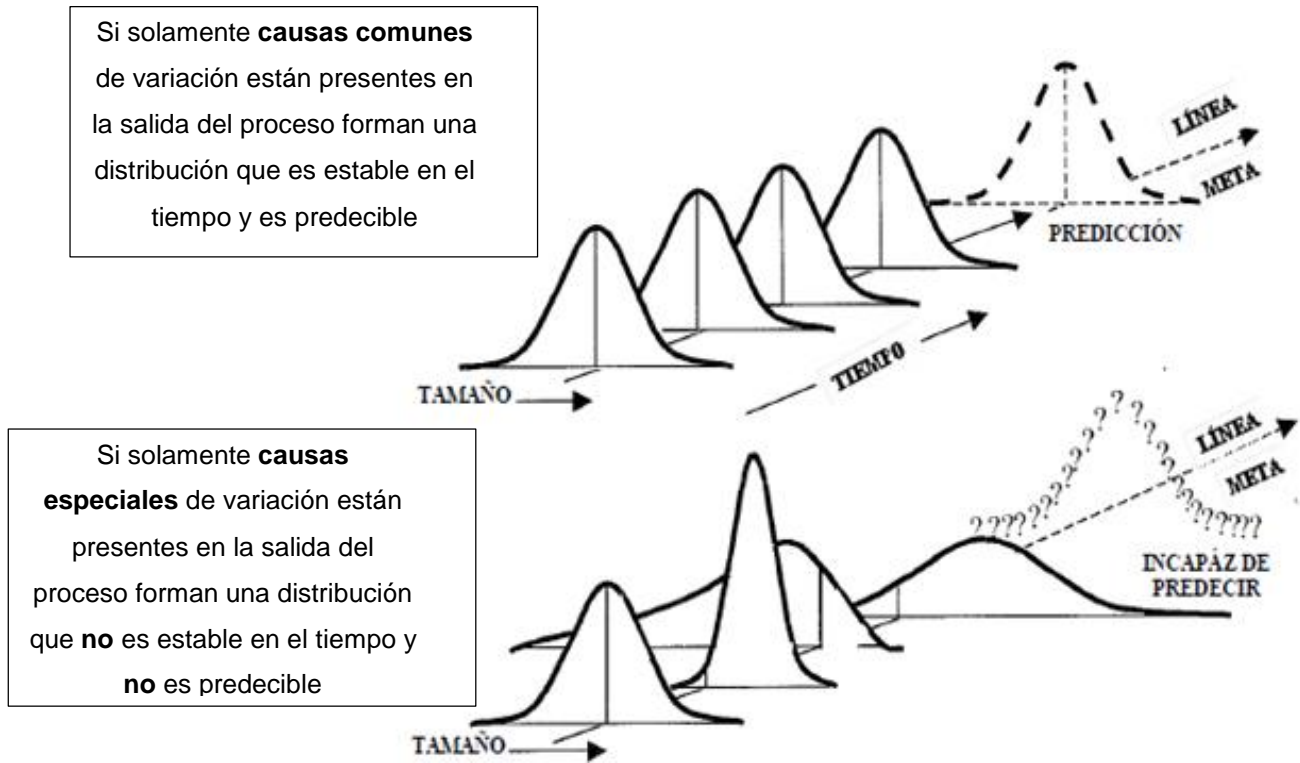
## IV.4 Causas de variación

Las causas de variación se clasifican en:

1. Causas comunes
  2. Causas especiales
- Las “*Causas Comunes (aleatorias)*” de variación son aquellas que provienen de muchas fuentes de variación (Las 6 M: Materiales, Maquinas, Mano de obra (gente), Mediciones, Medio ambiente y Métodos) que de manera consistente actúan sobre el sistema.
  - Las “*Causas Especiales (Casuales)*” son aquellas que se presentan en el sistema de manera no estable ni consistente ya que provienen de factores externos y/o especiales.

Véase figura 4.2.

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

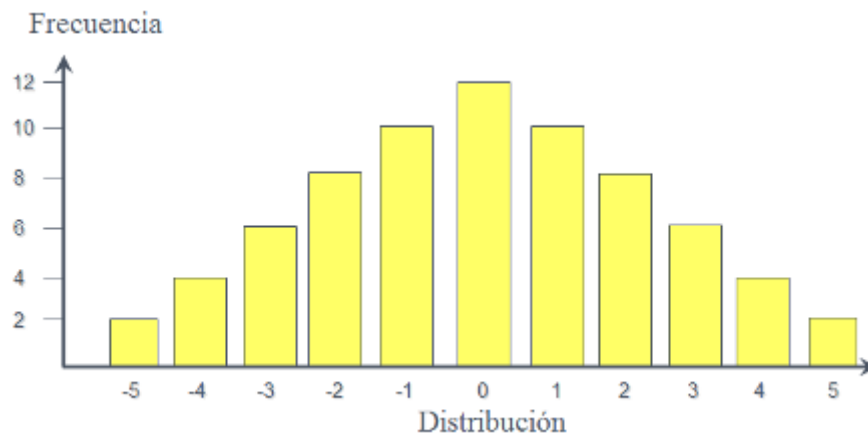


**Figura 4.2.** Causas de variación

(Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, Julio 2005, pág. 12)

## IV.5 Histograma

Es la representación gráfica, en forma de barras, de la distribución de un conjunto de datos o una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de grupos o clases, y cada clase es representada por una barra, cuya longitud es proporcional a la frecuencia de los valores representados. El histograma está formado por un eje horizontal que representa las mediciones realizadas y un eje vertical que representa las frecuencias (Figura 4.3.). (Instituto para Formación y Desarrollo Volkswagen, 2007)

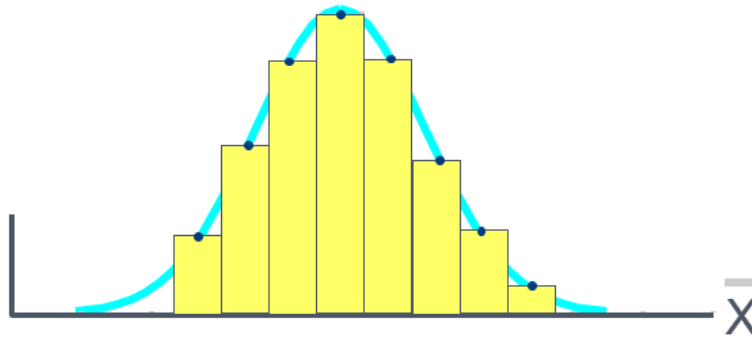


**Figura 4.3.** Histograma

## IV.6 Distribución normal

Es una distribución continua cuya densidad tiene forma de campana, tanto en estadística teórica como aplicada, esta forma senoidal representa la curva de distribución normal, donde sólo están ocurriendo variaciones aleatorias (normales).

Esta curva es definida por dos estimadores: La media ( $\bar{X}$ ), y la desviación estándar ( $\sigma$ ) que es una medida de “dispersión o variación” en todos los procesos. A través de ellos podemos definir la probabilidad de acontecimientos. (Figura 4.4.). (Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen, 2007)



**Figura 4.4.** Representación de una distribución normal o unimodal

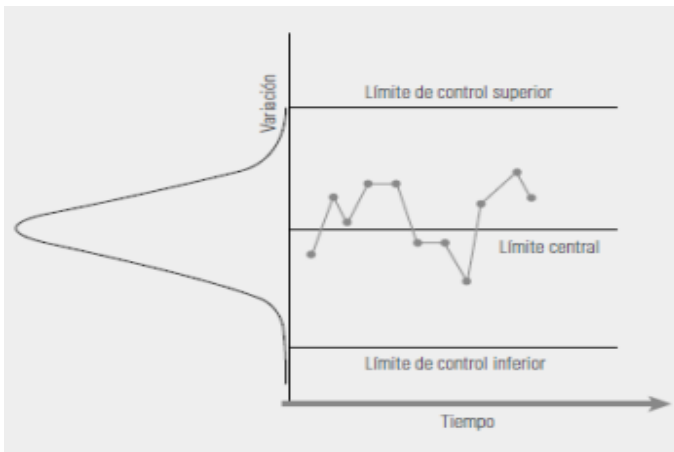
## IV.7 Cartas de Control

El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. De esta forma es posible distinguir entre variaciones comunes y especiales, esto ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y a decidir los mejores planes de acción y mejora. (Pulido, 2010, pág. 219)

## IV.8 Elementos básicos de una carta de control

Una carta de control se compone de tres líneas paralelas, comúnmente horizontales. La línea central de una carta de control representa el promedio del estadístico que se está graficando, cuando el proceso se encuentra en control estadístico. Las otras dos líneas se les llaman límites de control, superior e inferior, y cuando el proceso está dentro del control estadístico existe una alta probabilidad de que todos los valores del estadístico caigan dentro de los límites. Por otra parte si algún valor está fuera de los límites de control, es señal de que ocurrió algo especial y es necesario investigar y analizar su causa.

La observación de una carta de control no solo consta de en ver si algún valor cae fuera de los límites de control si no cualquier formación o patrón de los puntos que tengan poca probabilidad de ocurrir en condiciones de un proceso normal (Figura 4.5.). (Pulido, 2010, págs. 219, 220)



**Figura 4.5.** Elementos de una carta de control

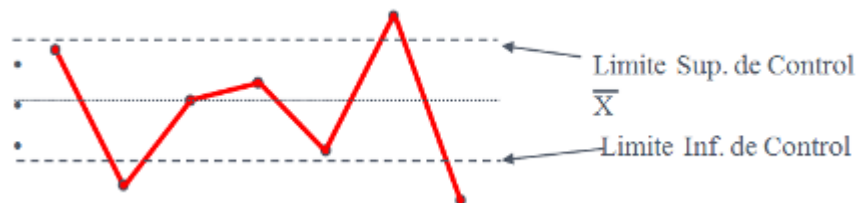
## IV.9 Límites de Control

Para analizar si están presentes causas comunes y/o especiales de variación, se utiliza una muestra estadística y se compara con los límites de control.

Los límites de control de las muestras se establecen a  $\pm 3$  desviaciones estándar de la variación “natural” de estos datos ya que nos asegura tener un intervalo de confianza de 99.73% de las variaciones aleatorias, por lo que cualquier punto fuera de estos límites estaría dando evidencia estadística de la presencia de causas especiales de variación. (Instituto para Formación y Desarrollo Volkswagen, 2007)

En general para establecer una gráfica de control se debe calcular:

1. El valor central = el promedio del estadístico que estamos analizando.
2. LSC = Límite superior de control = el valor central +  $3\sigma_x$
3. LIC = Límite inferior de control = el valor central -  $3\sigma_x$



**Figura 4.6.** Límites de control

## IV.10 Tipos de Cartas de Control

Existen dos tipos de cartas de control, para variables y para atributos.

Las “*cartas de control para variables*” se aplican a características de calidad de tipo continuo que requieren un instrumento de medición (peso, volumen, voltaje, longitud, resistencia, temperatura, humedad, dureza, etc.) Las cartas para variables tipo Shewhart más usuales son:

- Medias ( $\bar{x}$ ).
- Rangos ( $R$ ).
- De desviación estándar ( $S$ ).
- De medias individuales ( $\bar{X}$ ).

Estos nombres corresponden al estudio estadístico que se representa en la carta, y por medio de este se analizan las características importantes de un producto o proceso.

Existen características de los productos que no son medidas con algún instrumento de medición, en estos eventos los productos se juzgan con un criterio de “*pasa/no pasa*” dependiendo los atributos, también se le podrá contabilizar el número de defectos o no conformidades que tiene. Este tipo de características de calidad son monitoreadas a través de las “*cartas de control para atributos*” las cartas aplicables son:

- $p$  (Proporción o fracción de artículos defectuosos).
- $np$  (Número de unidades defectuosas).
- $c$  (Número de defectos).
- $u$  (Número de defectos por unidad).

(Pulido, 2010, pág. 221)

Para este proyecto utilizaremos **las cartas de control para variables.**

## **IV.11 Gráficos de control para variables y elaboración de gráficos X – R**

Las gráficas de control para variables son una herramienta que se puede utilizar cuando se dispone de mediciones resultantes de un proceso.

Su utilidad se debe a que:

- La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación es amplia.
- Un valor medible contiene más información que una simple afirmación de pasa – no pasa.
- Proporciona información rápida y confiable, de manera que se pueden tomar acciones correctivas oportunamente.
- Son muy sensibles para descubrir e identificar causas.

Algunas de las aplicaciones de los gráficos de promedios y rangos (*X - R*):

- Monitoreo de procesos
- Monitorear media y variabilidad de los procesos
- Obtención de información para establecer y cambiar procedimientos de inspección
- Permite análisis de variabilidad instantánea
- Contar con un criterio para decidir si conviene investigar causas de variación de los procesos

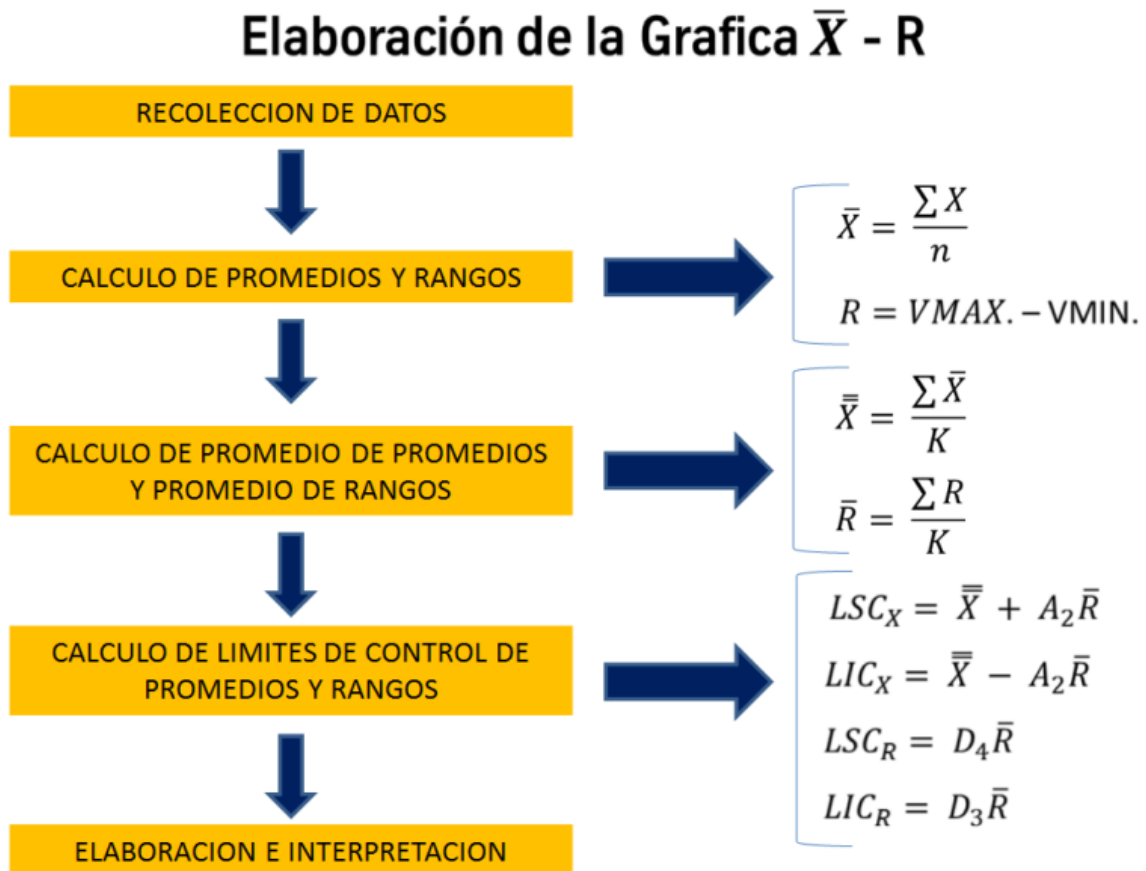
(Instituto para Formación y Desarrollo Volkswagen, 2007)

#### **IV.11.1. Primeros pasos de elaboración de gráficos promedios y rangos ( $\bar{X} - R$ )**

1. Definir el proceso.
2. Definir la variable a medir.
3. Definir el sistema de medición: Es muy importante evaluar el efecto de la variabilidad del sistema de medición sobre la variabilidad total del proceso y determinar si esta es aceptable o no.
4. Crear un plan de muestreo: Se debe diseñar un plan de muestreo que permita emplear subgrupos racionales. Un subgrupo racional es aquel que permite que la variación por causas comunes dentro de los subgrupos sea minimizada y que la variación por causas especiales “entre subgrupos” sea maximizada.
5. Tamaño del subgrupo: De acuerdo al tipo de proceso se deberá definir el tamaño del subgrupo. Los subgrupos de gran tamaño detectara pequeños cambios en el proceso pero requerirá de muchas mediciones. La práctica industrial ha demostrado que un tamaño de subgrupos igual a 5 es adecuado para la mayoría de los procesos.
6. Frecuencia de los subgrupos: Los subgrupos deben de ser tomados secuencialmente, por ejemplo cada media hora o cada hora durante el turno. La meta es detectar cambios del proceso en el tiempo. Los subgrupos deben ser recolectados con la frecuencia suficiente y apropiada para que puedan reflejar las oportunidades potenciales de cambio.
7. Número de subgrupos: El número de subgrupos necesarios para establecer los límites de control deben satisfacer los siguientes criterios; Se deben de tener suficientes subgrupos para asegurar que las mayores fuentes de variación de las cuales puedes afectar el proceso. Generalmente 25 subgrupos que contienen 100 o más lecturas individuales dan una buena prueba de estabilidad y una buena estimación de la localización y de dispersión del proceso.

8. Esquema de muestreo: Si existen causas especiales que afectan el proceso puede ocurrir que el proceso no sea predecible. Un adecuado esquema de muestro es aquel que es aleatorio. Una muestra aleatoria es aquella en donde cada dato tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. Una muestra aleatoria es planeada y sistemática.

Formulas figura 4.7.



**Figura 4.7.** Fórmulas para cálculo de gráficos promedios y rangos ( $X - R$ )

### **Carta de individuales / rango móvil (I-MR)**

La carta de individuales es para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos, como la  $X-R$  esta se aplica a procesos lentos, en los cuales para obtener una medición de la variable bajo análisis se requiere un periodo de tiempo relativamente largo.

La carta de rangos móviles (I-MR) se ha empleado como complemento de la carta de individuales, donde se grafica el rango móvil de orden 2 para detectar cambios en la dispersión del proceso. Sin embargo la carta de individuales es lo suficientemente robusta para detectar cambios tanto en la media como en la dispersión del proceso, ya que cuando una medición se dispara esto afecta directamente los rangos móviles en los que participa.

Existen muchas situaciones donde el tamaño de muestra es  $n = 1$ , por ejemplo:

1. Cuando hay inspección automática de parámetros o piezas individuales.
2. La tasa de producción es muy baja y no es inconveniente tomar muestras de más de una pieza.
3. Las mediciones entre unidades muestra difieren muy poco (sólo por errores de medición de laboratorio) como en procesos químicos.

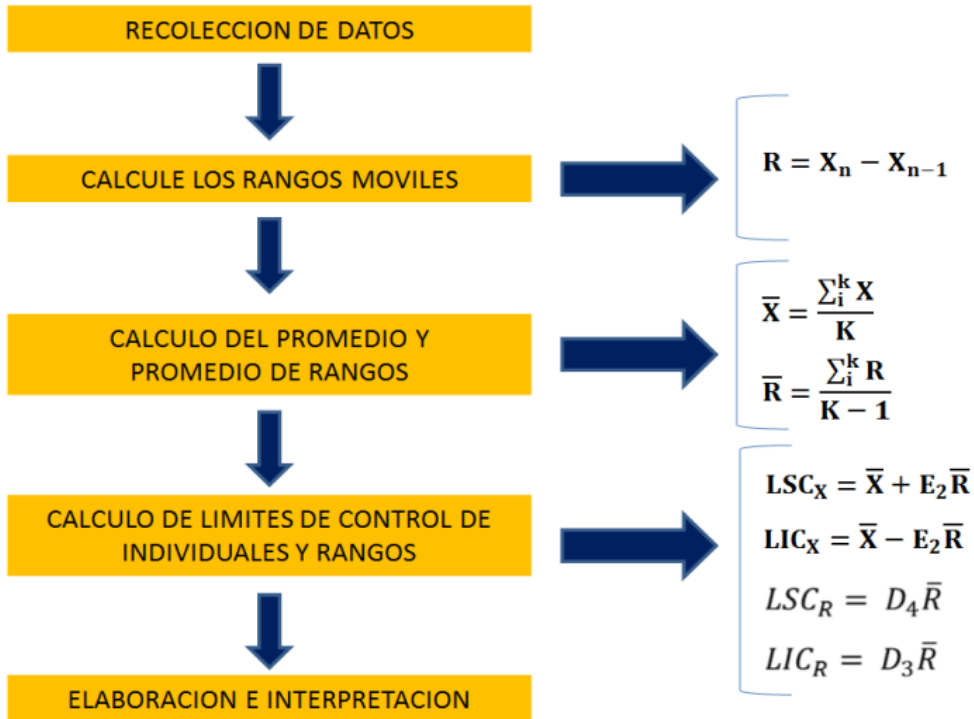
En tales situaciones se utiliza la carta de control por lecturas individuales. Los rangos móviles se empiezan a calcular a partir de la segunda muestra, tomando la diferencia entre cada dos valores consecutivos como sigue:

$$\overline{MR}_i = |X_i - X_{i-1}|.$$

Figura 4.8.

(Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen, 2007)

## Elaboración de la Gráfica Individuales X - R



**Figura 4.8.** Fórmulas para cálculo de gráficos de individuales / rango móvil (I-MR)

(Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen, 2007)

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**Tabla de constantes para gráficas de control figura 4.9.**

Tamaño de Subgrupo	Gráficas $\bar{X}$ y R				Gráficas $\bar{X}$ y s			
	Gráfica para Promedios	Gráfica para Rangos (R)			Gráfica para Promedios	Gráfica para Rangos (R)		
	Factor para Límites de Control	Divisores del Estimativo $\sigma_x$	Factores para Límites de Control		Factor para Límites de Control	Divisores del Estimativo $\sigma_x$	Factores para Límites de Control	
	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1.880	1.128		3.267	2.659	0.7979		3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862		2.568
4	0.729	2.059		2.282	1.628	0.9213		2.266
5	0.577	2.326		2.114	1.427	0.9400		2.089
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646

**Figura 4.9.** Tabla de constantes

(Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, Julio 2005, pág. 181)

## IV.12 Criterios para causas especiales

Existen muchos criterios para identificar causas especiales (Ver tabla). La decisión de cuales criterios usar depende del proceso que está siendo estudiado/controlado

#	Resumen de los criterios típicos de causas especiales
1	Un Punto a más de 3 desviaciones estándar de la media (Figura 4.10.)
2	Siete Puntos alineados en un mismo lado de la línea central (Figura 4.11.)
3	Seis Puntos en línea, crecientes o decrecientes (Figura 4.12.)
4	Catorce puntos alternándose uno arriba y otro abajo (Figura 4.13.)
5	Dos de tres puntos a más de dos desviaciones estándar de la línea central (del mismo lado). (Figura 4.14.)
6	Cuatro de cinco puntos a más de una desviación estándar de la línea central (del mismo lado) (Figura 4.15.)
7	Quince puntos dentro de una desviación es estándar de la línea central (a ambos lados) (Figura 4.16.)
8	Ocho puntos a más de una desviación estándar de la línea central (a ambos lados) (Figura 4.17.)

. (Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, Julio 2005, pág. 75)

1 Uno o mas puntos por arriba del LSC o por abajo del LIC

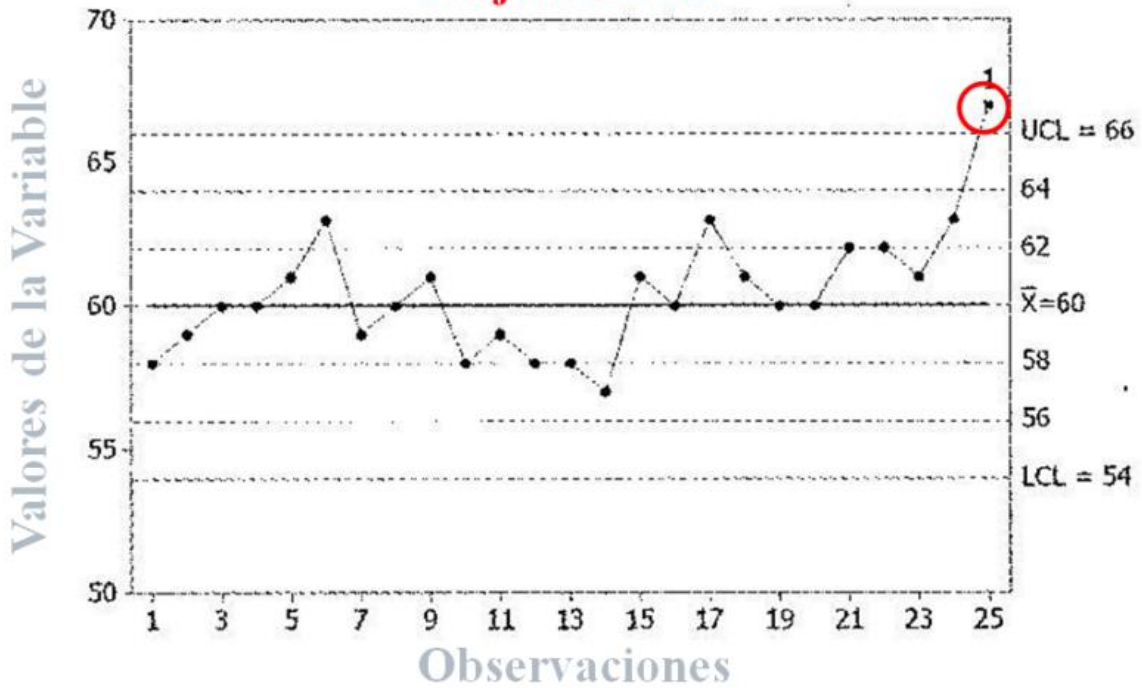


Figura 4.10. Un Punto a más de 3 desviaciones estándar de la media

2 7 Puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central

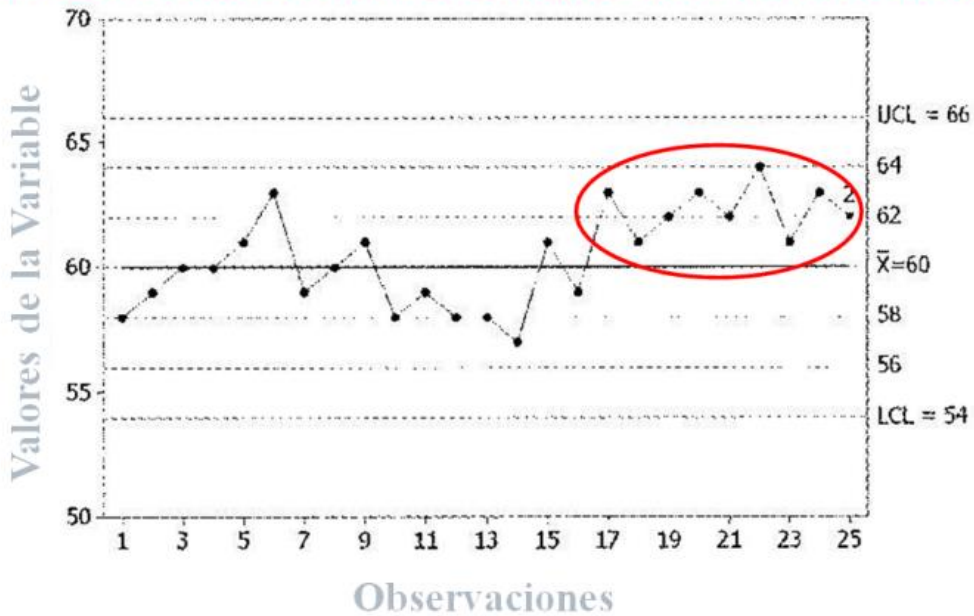


Figura 4.11. Siete Puntos alineados en un mismo lado de la línea central

3 6 Puntos consecutivos todos crecientes ó decrecientes

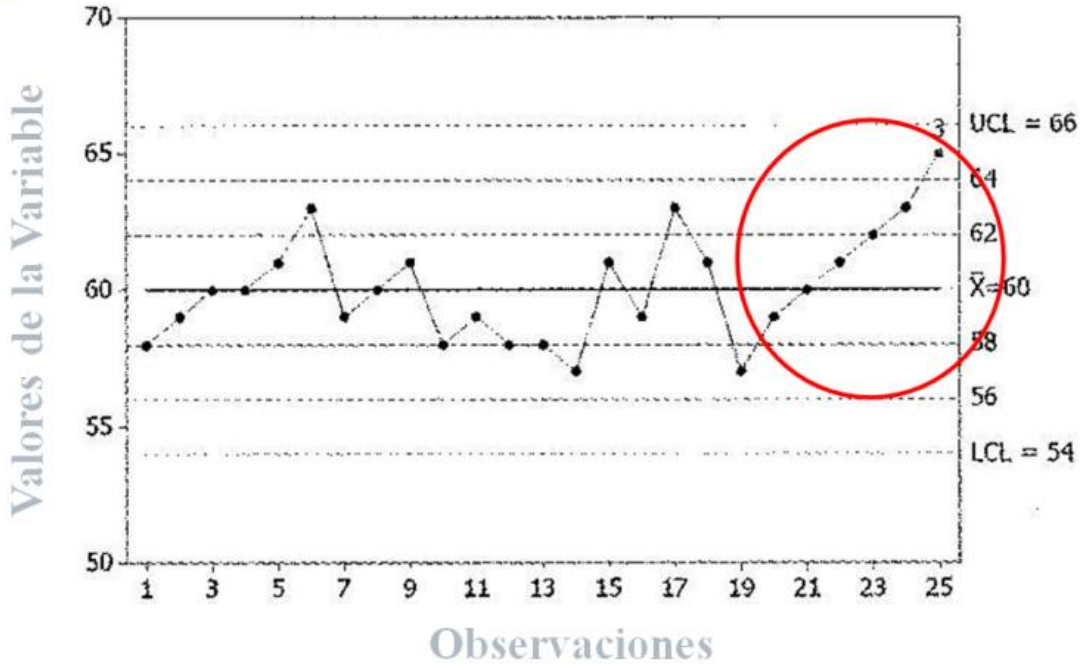


Figura 4.12. Seis Puntos en línea, crecientes o decrecientes

4 14 Puntos consecutivos alternando hacia arriba y hacia abajo

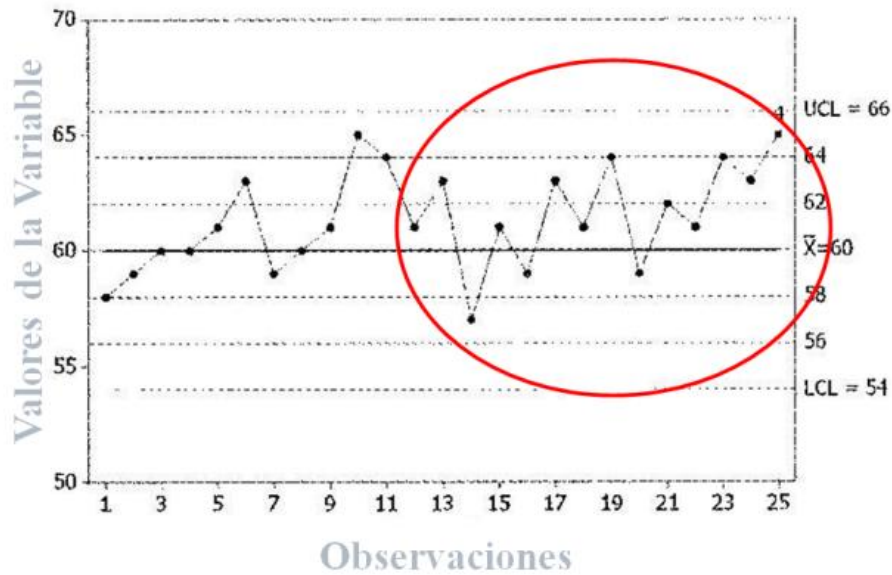


Figura 4.13. Catorce puntos alternándose uno arriba y otro abajo

5 2 de 3 puntos más allá de 2 desviaciones de la línea central (mismo lado)

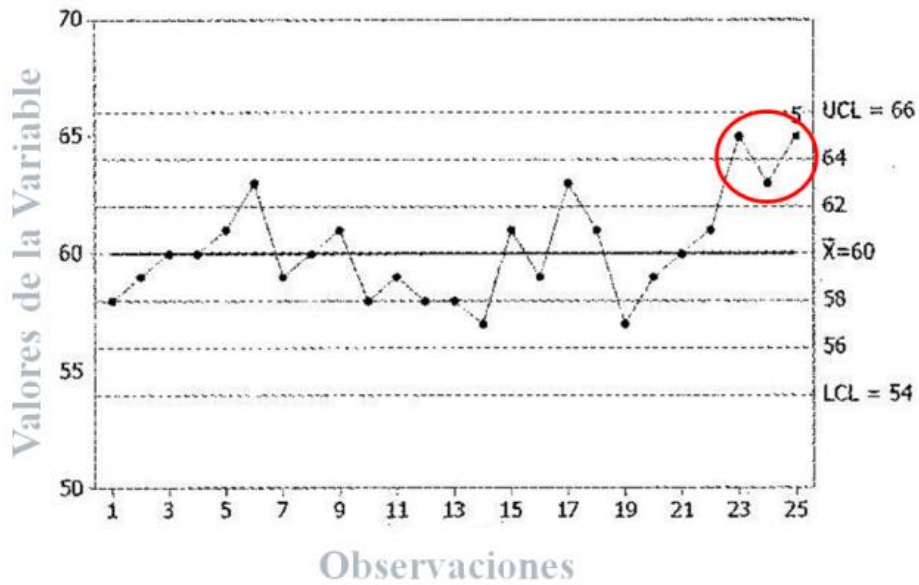


Figura 4.14. Dos de tres puntos a más de dos desviaciones estándar de la línea central (del mismo lado)

6 4 de 5 puntos más allá de 1 desviación de la línea central (mismo lado)

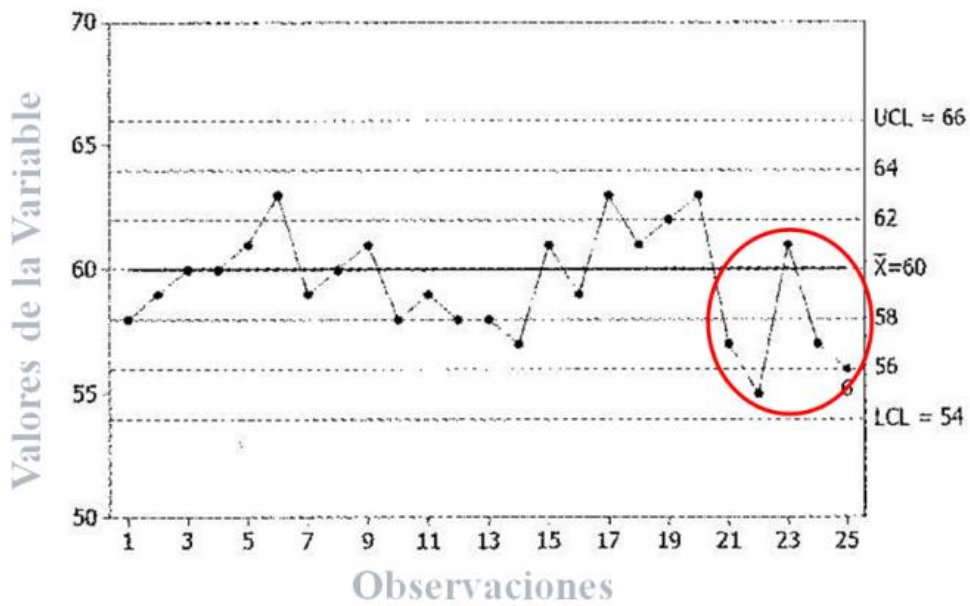


Figura 4.15. Cuatro de cinco puntos a más de una desviación estándar de la línea central (del mismo lado)

7

15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación de la línea central (ambos lados)

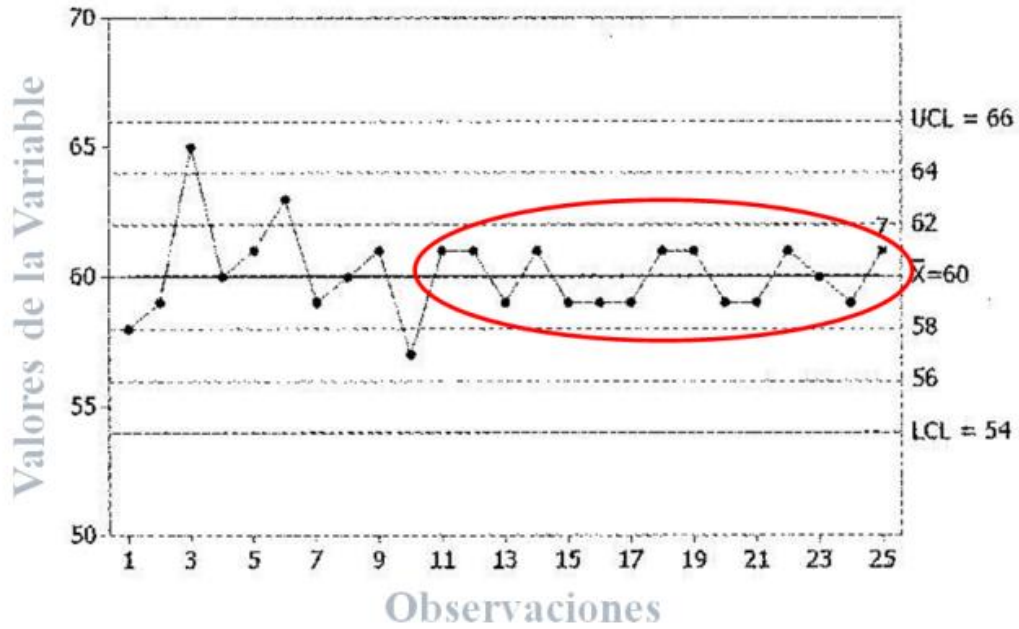


Figura 4.16. Quince puntos dentro de una desviación estándar de la línea central (a ambos lados)

8

8 Puntos consecutivos más allá de 1 desviación de la línea central (ambos lados)

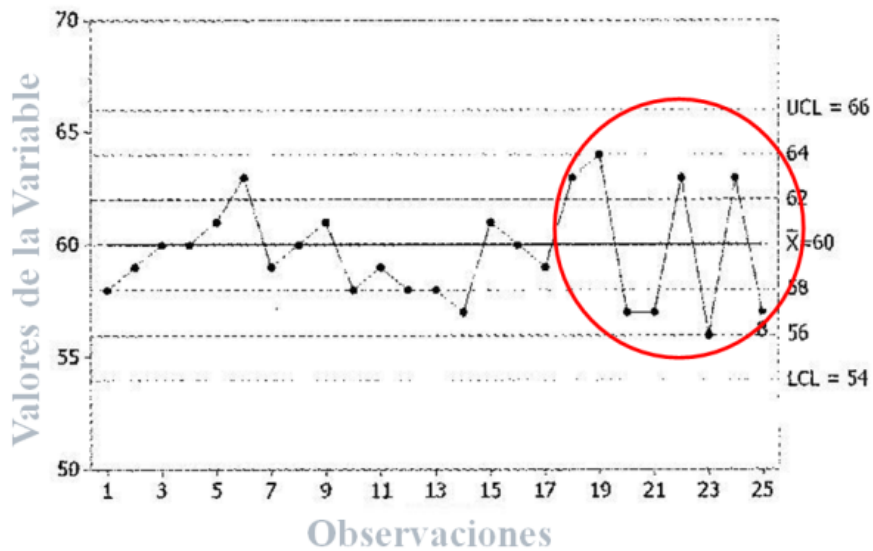


Figura 4.17. Ocho puntos a más de una desviación estándar de la línea central (a ambos lados)

### IV.13 Capacidad potencial del proceso (Cp)

$C_p$  (Capacidad potencial) es el índice de capacidad potencial del proceso, es decir, cuantas veces el ancho del proceso cabría dentro de los límites de especificación (figura 4.18.), se define de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

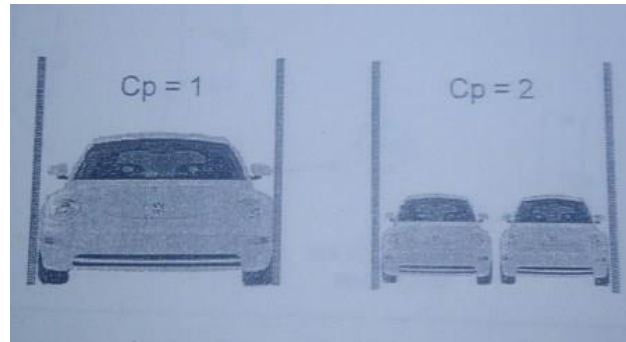
•Desviación estandar

$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

↑

- Donde:
- $\bar{R}$  es el Rango Promedio
- $d_2$  es una constante de la tabla

La variación del proceso es una sumatoria de las variaciones de cada elemento que compone el proceso. La variación es estimada en unidades de Desviación Estándar, calculados a partir del "Rango promedio" de la carta de control.



**Figura 4.18.** Capacidad potencial

(Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen, 2007)

Donde  $\sigma$  representa la desviación estándar del proceso, y  $LSE$  y  $LIE$  son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad, el índice  $C_p$  (Capacidad potencial) compara el ancho de las especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso.

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

$6\sigma$  (seis veces la desviación estándar) es la variación real, debido a las características de la distribución normal, en las que se afirma que entre " $x \pm 3\sigma$ " se encuentra 99.73% de los valores de una variable con distribución normal.

Para que un proceso pueda considerarse potencialmente capaz debe cumplir con ciertas especificaciones, se requiere que la variación real sea siempre menor que la variación tolerada (Ver tabla 1.1.).

En la tabla 1.2. Se representa el valor del índice en el porcentaje de artículos que no cumplirán con las especificaciones, así como la cantidad de artículos o partes defectuosas por cada millón producido (PPM: Partes por millón).

**Tabla 1.1.** Valores del  $C_p$  y su interpretación

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

(Pulido, 2010, págs. 166, 167)

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**Tabla 1.2. PPM: Partes por millón**

Los índices  $C_p$ ,  $C_{pi}$  y  $C_{ps}$  en términos de la cantidad de piezas malas; bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación.

VALOR DEL ÍNDICE (CORTO PLAZO)	PROCESO CON DOBLE ESPECIFICACIÓN (ÍNDICE $C_p$ )		CON REFERENCIA A UNA SOLA ESPECIFICACIÓN ( $C_{pi}$ , $C_{ps}$ , $C_{pk}$ )	
	% FUERA DE LAS DOS ESPECIFICACIONES	PARTES POR MILLÓN FUERA (PPM)	% FUERA DE UNA ESPECIFICACIÓN	PARTES POR MILLÓN FUERA (PPM)
0.2	54.8506%	548 506.130	27.4253%	274 253.065
0.3	36.8120%	368 120.183	18.4060%	184 060.092
0.4	23.0139%	230 139.463	11.5070%	115 069.732
0.5	13.3614%	133 614.458	6.6807%	66 807.229
0.6	7.1861%	71 860.531	3.5930%	35 930.266
0.7	3.5729%	35 728.715	1.7864%	17 864.357
0.8	1.6395%	16 395.058	0.8198%	8 197.529
0.9	0.6934%	6 934.046	0.3467%	3 467.023
1.0	0.2700%	2 699.934	0.1350%	1 349.967
1.1	0.0967%	966.965	0.0483%	483.483
1.2	0.0318%	318.291	0.0159%	159.146
1.3	0.0096%	96.231	0.0048%	48.116
1.4	0.0027%	26.708	0.0013%	13.354
1.5	0.0007%	6.802	0.0003%	3.401
1.6	0.0002%	1.589	0.0001%	0.794
1.7	0.0000%	0.340	0.0000%	0.170
1.8	0.0000%	0.067	0.0000%	0.033
1.9	0.0000%	0.012	0.0000%	0.006
2.0	0.0000%	0.002	0.0000%	0.001

(Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar , 2009, págs. 102, 103)

#### **IV.14 Índice de capacidad inferior (*C<sub>pi</sub>*), y de capacidad superior (*C<sub>ps</sub>*)**

Una desventaja del uso del índice *C<sub>p</sub>* (Capacidad potencial del proceso), es que no se toma en cuenta el centrado del proceso, debido a que en la fórmula para calcular el *C<sub>p</sub>* no se incluye de ninguna manera la media del proceso. Una forma de arreglar esto consiste en evaluar por separado el cumplimiento de la especificación superior e inferior, a través del índice de capacidad inferior (*C<sub>pi</sub>*), y el índice de capacidad superior (*C<sub>ps</sub>*), los cuales se calculan de la siguiente manera:

$$CPI = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \quad \text{y} \quad CPS = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

Estos índices mencionados si toman en cuenta la media y al calcular la distancia de la media del proceso a una de las especificaciones. Esta distancia representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media, por tal motivo esto solo se divide entre  $3\sigma$ , porque solo está tomando en cuenta la mitad de la variación natural del proceso. Para interpretar estos índices y considerar que el nuestro proceso es adecuado, los valores de “*C<sub>pi</sub>* y *C<sub>ps</sub>*” deben ser mayor que 1.25 en lugar de 1.33. La tabla 1.2. Ayuda a interpretar los valores de estos índices en términos de porcentaje de los productos que no cumplen las especificaciones.

(Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar , 2009, pág. 104)

## IV.15 Capacidad real del proceso (Cpk)

El índice “Cpk” que se conoce como el índice de capacidad real del proceso, es considerado la versión corregida del Cp que si toma en cuenta el centrado del proceso.

La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

De acuerdo a la fórmula que se aprecia arriba, el índice Cpk es igual al valor mínimo entre Cpi y Cps esto quiere decir, que es igual al valor unilateral más pequeño, por lo que el valor del índice Cpk es satisfactorio si es mayor a 1.25, esto indicaría que el proceso realmente es capaz. Si el valor del índice Cpk es menor a 1 quiere decir que el proceso no cumple con por lo menos una de las especificaciones.

Elementos adicionales para la interpretación del índice Cpk:

- Cpk evalúa la amplitud de las tolerancias con respecto a la amplitud del proceso.
- Cpk siempre será menor o igual que el índice Cp, esto significa que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo tanto esto quiere decir que la capacidad potencial y la capacidad real son similares.
- Si el valor Cpk es mucho más pequeño que el Cp, significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones.

Al igual que los valores de los índices de Cp, Cpi, Cps, el valor del índice Cpk lo podemos ver representado en la Tabla 1.2. (Capítulo anterior) en el porcentaje de artículos que no cumplirán con las especificaciones, así como la cantidad de artículos o partes defectuosas por cada millón producido (PPM: Partes por millón).

(Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar , 2009, pág. 105)

## IV.16 Índice $K$

Un aspecto importante en el estudio de la capacidad de un proceso es evaluar que tan centrada esta distribución de un proceso con respecto a las especificaciones de una característica de calidad.

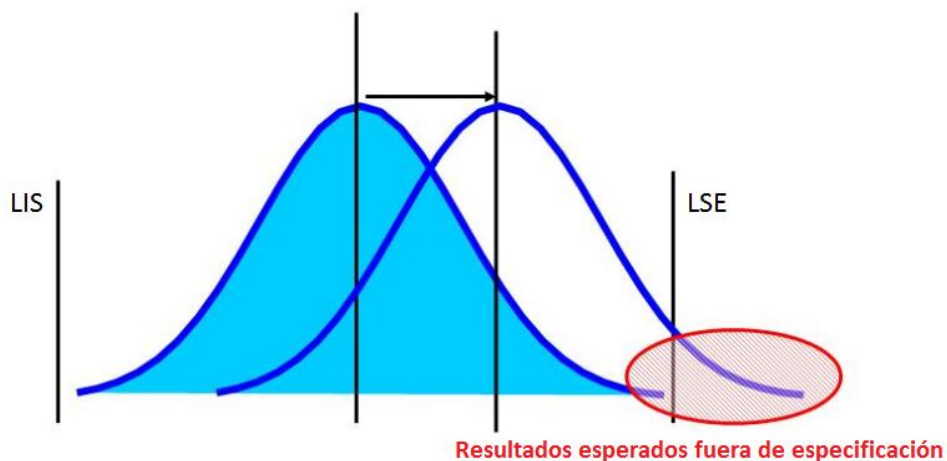
Para esto se debe calcular el índice de centrado del proceso,  $K$ , que se calcula de la siguiente forma:

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

La interpretación del valor  $K$  es la siguiente:

-Los valores de  $K$  menores al 20% en términos absolutos se consideran aceptables.

-Si los valores de  $K$  son mayores al 20%, esto indica que el proceso se encuentra seriamente descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a la baja capacidad del proceso de alguna de las especificaciones inferior o superior de acuerdo al valor mínimo del cálculo del  $Cpk$ . Figura 4.19. (Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar , 2009, págs. 105, 106)



**Figura 4.19.** Ejemplo gráfico de un proceso descentrado

## **Capítulo V. Análisis de información**

En el desarrollo de este proyecto se tiene como enfoque principal el cumplimiento de las metas fijadas, que son aumentar la eficiencia del proceso de tratamiento térmico y disminuir la variación de dureza de la biela, a través de la implementación del control estadístico del proceso e interpretando los resultados obtenidos de esta herramienta para prevenir las causas de variación, proponiendo la gestión de herramientas de solución de problemas como son las 8D's, A3, 5W's, entre otras. Para que se tomen medidas correctivas que contribuyan a la solución de las causas de variación, con el propósito de estandarizar y controlar el proceso de tratamiento térmico.

-Se comenzó por definir y comprender la parte teórica de los tratamientos térmicos, también que son, para que sirven, y la descripción de sus etapas. Así como el Control estadístico de procesos y su aplicación.

-Como antecedentes históricos del proceso se tiene capturada en una base de datos un registro del monitoreo de dureza superficial como lo dice el procedimiento de liberación metalúrgica de Set-Up de piezas con tratamiento térmico de las últimas 4 coladas del año 2017.

## **V.1 Pasos para realizar el análisis de SPC usando Excel y Minitab**

En este capítulo se presenta la implementación e interpretación de resultados de las herramientas del control estadístico del proceso.

También se muestran las opciones del cálculo y análisis del SPC que son; por medio de Excel (programa de la paquetería de office de fácil acceso) y la recomendación del uso del software “Minitab” ya que ayuda a hacer un cálculo en menor tiempo y podemos realizar la observación del gráfico adicional que ofrece este software que es la gráfica de probabilidad normal.

Este análisis se realizó y fue evaluado de la siguiente manera;

- De la base de datos de distribución de frecuencia en la cual fue registrada la medición de la dureza (Hardness Brinell), se capturaron los valores en un archivo de Excel. Véase figura 5.1 y 5.6



**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

Colada	Fecha	Frecuencia	Subgrupos		
			1	2	3
JX	08-ene	16:45	272	272	269
		17:20	272	272	269
		18:10	275	272	269
		19:00	272	269	269
		20:00	275	275	272
		20:45	275	275	272
		21:30	272	269	269
		23:00	272	269	269
		23:40	272	269	266
	09-ene	00:40	275	272	272
		03:40	272	269	266
		04:30	275	272	269
		05:20	275	275	272
		06:10	275	275	272
		08:30	272	272	269
		09:40	272	269	269
		10:10	275	272	269
		11:00	272	272	272
		12:20	275	275	272
		13:10	278	275	272
		14:10	275	275	272
		16:30	272	269	269
		17:20	272	269	266
		18:10	272	269	269
		19:30	275	272	269
		20:50	275	275	272
		21:30	278	275	272
	28-ene	15:30	288	278	275
		16:40	275	272	269
		17:30	275	275	272
	18:20	278	275	272	

**Figura 5.2.** Ejemplo de los valores capturados de la tabla de distribución de frecuencia

- De acuerdo a la parte teórica de este proyecto del “capítulo IV” se tomaron como guía de implementación e interpretación las fórmulas y la explicación dada del control estadístico del proceso, para poder ver el comportamiento del proceso al graficarlo en un archivo de Excel.
- Por último se comparó los resultados de Excel contra los de “Minitab” para demostrar su igualdad y fueron analizados para comprobar capacidad del proceso. Cuyo objetivo fue hacer observable las variaciones de dureza en el proceso y de esta manera recomendar la gestión de planes de acción para la implementación de la mejora continua en el proceso con fines benéficos para el cliente.

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**V.1.1 Opciones de cálculo para análisis del SPC e interpretación de resultados**

- Cálculo en Excel

Número de parte: Kr 20176      *Colada: LP*      *LSE: 302*      *LSI: 248*

Colada	Fecha	Frecuencia	Subgrupos			Datos de medias ( $\bar{X}$ )				Datos de medias ( $\bar{R}$ )				
			1	2	3	$\bar{X}$	LC $\bar{X}$	LCS	LCI	R	LC $\bar{R}$	LCS	LCI	
LP	16-nov	12:00	275	272	269	272.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
		17:00	282	278	275	278.333	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0	
		18:00	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0	
		19:00	278	275	278	277.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0	
		20:00	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0	
		21:00	282	278	275	278.333	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0	
		22:00	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0	
		11:40	282	278	275	278.333	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0	
		17-nov	00:45	278	278	275	277.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0
			01:30	278	275	272	275.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
			02:30	275	275	272	274.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0
			04:00	278	275	269	274.000	277.70	283.79	271.61	9.00	5.95	15.32	0
			05:00	282	278	275	278.333	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0
			06:00	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0
			08:00	275	275	272	274.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0
			08:50	278	272	269	273.000	277.70	283.79	271.61	9.00	5.95	15.32	0
			09:00	278	272	269	273.000	277.70	283.79	271.61	9.00	5.95	15.32	0
			10:00	275	269	269	271.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
			11:20	275	269	266	270.000	277.70	283.79	271.61	9.00	5.95	15.32	0
			13:00	275	272	269	272.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
			14:10	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0
			16:30	278	275	272	275.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
			18:20	278	278	275	277.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0
			19:40	282	282	278	280.667	277.70	283.79	271.61	4.00	5.95	15.32	0
			11:50	282	278	275	278.333	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0
		18-nov	00:40	285	285	278	282.667	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0
			01:45	285	282	278	281.667	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0
			02:30	288	285	282	285.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
			04:00	285	285	282	284.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0
			04:50	288	288	282	286.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0
		05:50	288	285	282	285.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
	23-nov	16:00	278	272	269	273.000	277.70	283.79	271.61	9.00	5.95	15.32	0	
		16:30	275	272	269	272.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
		17:00	278	272	272	274.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
		17:55	282	275	272	276.333	277.70	283.79	271.61	10.00	5.95	15.32	0	
		19:00	278	275	272	275.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
		20:30	278	278	272	276.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
		22:00	278	275	272	275.000	277.70	283.79	271.61	6.00	5.95	15.32	0	
	24-nov	00:40	285	278	272	278.333	277.70	283.79	271.61	13.00	5.95	15.32	0	
		02:00	285	285	282	284.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0	
		03:20	285	282	278	281.667	277.70	283.79	271.61	7.00	5.95	15.32	0	
		04:35	285	285	282	284.000	277.70	283.79	271.61	3.00	5.95	15.32	0	

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**Colada: LS**

Colada	Fecha	Frecuencia	Subgrupos			Datos de medias ( $\bar{X}$ )				Datos de medias ( $\bar{R}$ )			
			1	2	3	$\bar{X}$	LC $\bar{X}$	LCS	LCI	R	LC $\bar{R}$	LCS	LCI
LS	24-nov	05:50	288	285	282	285.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		06:30	292	285	282	286.333	279.14	285.23	273.06	10.00	5.95	15.30	0
		08:00	285	285	282	284.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		09:00	288	285	282	285.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		10:00	285	285	282	284.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		11:00	282	278	275	278.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		12:00	282	282	278	280.667	279.14	285.23	273.06	4.00	5.95	15.30	0
		13:00	285	282	278	281.667	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		14:00	282	282	278	280.667	279.14	285.23	273.06	4.00	5.95	15.30	0
		16:00	285	282	275	280.667	279.14	285.23	273.06	10.00	5.95	15.30	0
		16:50	282	275	275	277.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		17:50	278	275	272	275.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		19:00	282	275	275	277.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		20:30	278	275	272	275.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		22:00	282	278	275	278.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
	25-nov	00:00	285	282	278	281.667	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		01:35	285	282	282	283.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		02:50	285	282	282	283.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		03:05	285	282	282	283.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		04:45	288	285	282	285.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		05:50	285	282	278	281.667	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		06:35	285	282	282	283.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		08:00	278	275	272	275.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		08:50	278	275	275	276.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		09:40	282	278	275	278.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0
		10:30	275	275	272	274.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		11:30	278	275	272	275.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		12:20	278	275	272	275.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
		13:30	278	275	275	276.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0
		16:00	278	272	272	274.000	279.14	285.23	273.06	6.00	5.95	15.30	0
	17:00	278	272	269	273.000	279.14	285.23	273.06	9.00	5.95	15.30	0	
26-nov	05:35	282	278	275	278.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0	
	06:30	278	278	275	277.000	279.14	285.23	273.06	3.00	5.95	15.30	0	
	16:00	278	275	269	274.000	279.14	285.23	273.06	9.00	5.95	15.30	0	
	17:00	275	272	282	276.333	279.14	285.23	273.06	10.00	5.95	15.30	0	
	18:00	278	275	285	279.333	279.14	285.23	273.06	10.00	5.95	15.30	0	
	18:50	282	275	275	277.333	279.14	285.23	273.06	7.00	5.95	15.30	0	

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**Colada: LT**

Colada	Fecha	Frecuencia	Subgrupos			Datos de medias ( $\bar{X}$ )				Datos de medias ( $\bar{R}$ )				
			1	2	3	$\bar{X}$	LC $\bar{X}$	LCS	LCI	R	LC $\bar{R}$	LCS	LCI	
LT	16-dic	08:00	278	275	272	275.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		09:00	275	272	269	272.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		09:50	275	272	275	274.000	277.41	283.82	271.00	3.00	6.27	16.13	0	
		11:00	278	275	272	275.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		11:50	278	278	275	277.000	277.41	283.82	271.00	3.00	6.27	16.13	0	
		13:00	278	275	272	275.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		14:10	282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		16:10	275	275	272	274.000	277.41	283.82	271.00	3.00	6.27	16.13	0	
		17:30	278	275	269	274.000	277.41	283.82	271.00	9.00	6.27	16.13	0	
		18:20	278	272	272	274.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		19:20	282	275	272	276.333	277.41	283.82	271.00	10.00	6.27	16.13	0	
		20:30	285	282	275	280.667	277.41	283.82	271.00	10.00	6.27	16.13	0	
		21:40	282	282	275	279.667	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		11:40	275	272	269	272.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
		00:50	282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		01:55	285	285	278	282.667	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		02:55	282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		04:00	282	282	278	280.667	277.41	283.82	271.00	4.00	6.27	16.13	0	
		05:20	285	282	278	281.667	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
		06:30	285	285	282	284.000	277.41	283.82	271.00	3.00	6.27	16.13	0	
		17-dic	08:00	285	282	278	281.667	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0
			09:00	282	275	275	277.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0
			10:00	282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0
			12:00	282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0
			13:00	282	282	278	280.667	277.41	283.82	271.00	4.00	6.27	16.13	0
			14:00	285	282	278	281.667	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0
	16:00		282	275	272	276.333	277.41	283.82	271.00	10.00	6.27	16.13	0	
	17:00		278	272	272	274.000	277.41	283.82	271.00	6.00	6.27	16.13	0	
	18:00		282	278	275	278.333	277.41	283.82	271.00	7.00	6.27	16.13	0	
	19:00	275	272	272	273.000	277.41	283.82	271.00	3.00	6.27	16.13	0		

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

**Colada: LV**

Colada	Fecha	Frecuencia	Subgrupos			Datos de medias ( $\bar{X}$ )				Datos de medias ( $\bar{R}$ )			
			1	2	3	$\bar{X}$	LC $\bar{X}$	LCS	LCI	R	LC $\bar{R}$	LCS	LCI
LV	20-dic	21:00	282	278	275	278.333	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		22:00	282	275	275	277.333	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		23:40	285	278	275	279.333	279.78	286.29	273.26	10.00	6.37	16.39	0
		00:40	278	275	272	275.000	279.78	286.29	273.26	6.00	6.37	16.39	0
		01:50	282	278	275	278.333	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		03:00	278	275	275	276.000	279.78	286.29	273.26	3.00	6.37	16.39	0
		05:00	282	275	272	276.333	279.78	286.29	273.26	10.00	6.37	16.39	0
		06:00	278	275	272	275.000	279.78	286.29	273.26	6.00	6.37	16.39	0
		08:40	282	275	272	276.333	279.78	286.29	273.26	10.00	6.37	16.39	0
		09:50	285	285	282	284.000	279.78	286.29	273.26	3.00	6.37	16.39	0
		10:30	282	278	275	278.333	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		11:50	278	278	275	277.000	279.78	286.29	273.26	3.00	6.37	16.39	0
		13:00	282	278	275	278.333	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		14:00	282	282	275	279.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		16:00	282	282	278	280.667	279.78	286.29	273.26	4.00	6.37	16.39	0
		17:00	285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		17:50	282	278	278	279.333	279.78	286.29	273.26	4.00	6.37	16.39	0
		18:40	285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		19:30	288	285	282	285.000	279.78	286.29	273.26	6.00	6.37	16.39	0
		20:20	285	282	282	283.000	279.78	286.29	273.26	3.00	6.37	16.39	0
		21:30	285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0
		23:50	282	282	278	280.667	279.78	286.29	273.26	4.00	6.37	16.39	0
	21-dic	00:50	285	282	275	280.667	279.78	286.29	273.26	10.00	6.37	16.39	0
		01:50	282	282	278	280.667	279.78	286.29	273.26	4.00	6.37	16.39	0
02:50		285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	
04:00		285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	
05:00		282	282	275	279.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	
06:00		285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	
08:30		285	282	278	281.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	
	09:40	285	285	278	282.667	279.78	286.29	273.26	7.00	6.37	16.39	0	

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

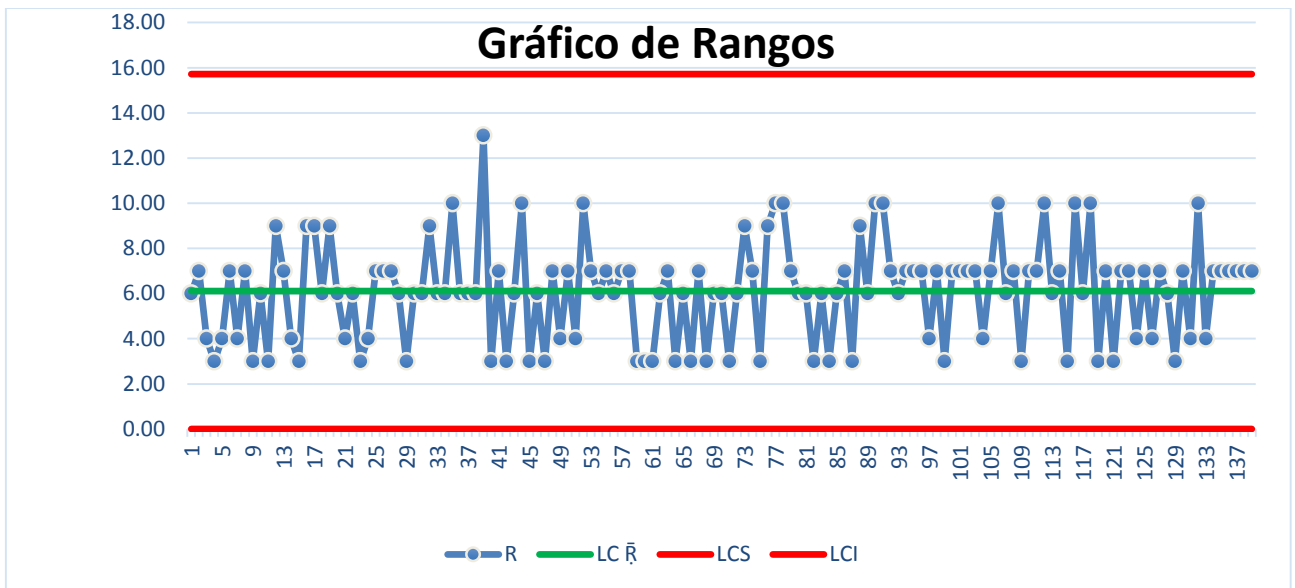
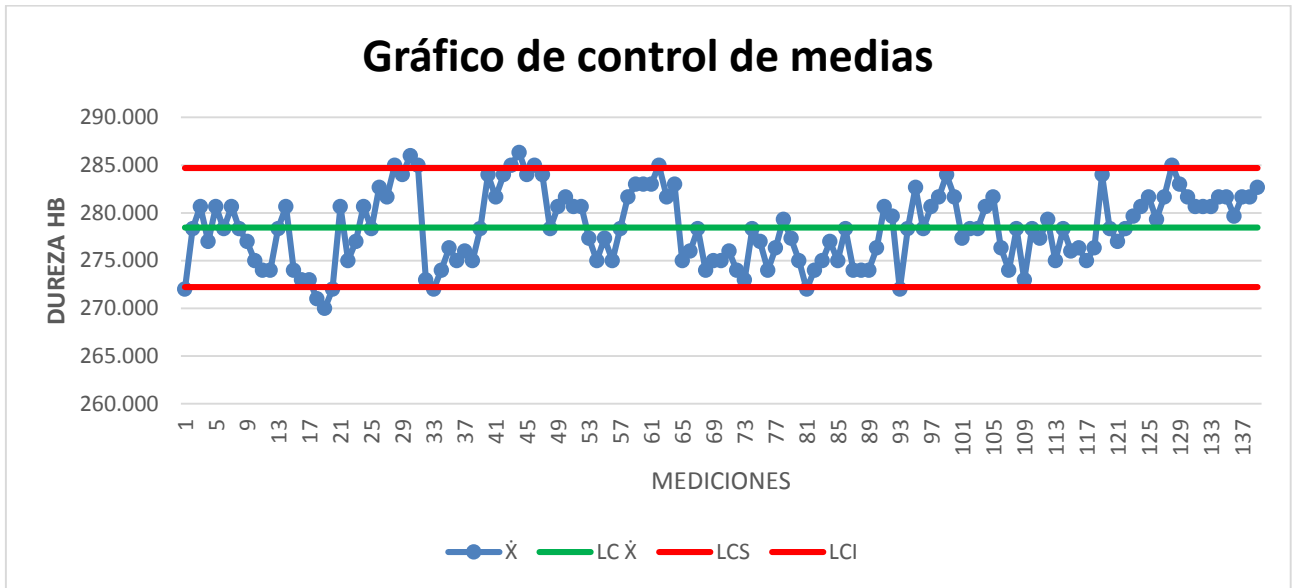
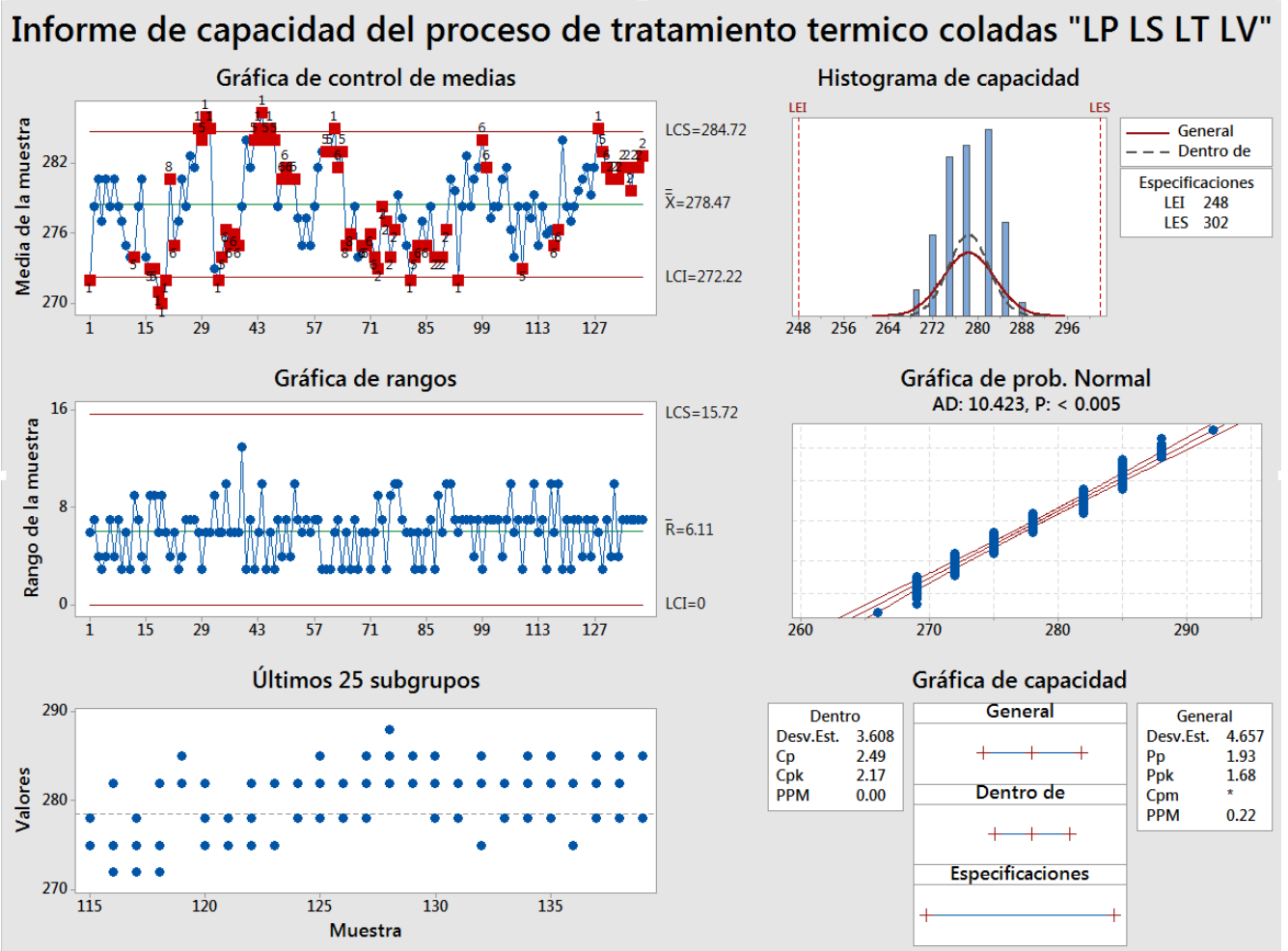


Tabla de constantes	
A2:	1.023
D3:	0
D4:	2.574
d2:	1.693

LSE:	302
LIE:	248

	Dentro	General
Desviacion estandar:	<b>3.608</b>	Desviacion estandar: <b>4.657</b>
CP	<b>2.49</b>	PP: <b>1.93</b>
CPI:	2.82	PPI: 2.18
CPS:	2.17	PPS: 1.68
CPK:	<b>2.17</b>	PPK: <b>1.68</b>
PPM:	<b>0</b>	PPM: 0.22

- Cálculo en Minitab



Una vez ya visualizada la homologación de resultados entre Excel y Minitab, se interpretaron estos registros.

En este análisis de medición de dureza superficial (prueba no destructiva) de las coladas "LP LS LT y LV" se observa una carta de control tipo Shewhart, en la cual podemos ver que la prueba fallo en varios puntos ya que se encuentran fuera de los límites de control calculados e incluso que algunos valores salieron de los rangos de la gráfica de probabilidad normal, vemos que el valor de CP y CPK son mayores al mínimo permisible (1.33), esto nos indica que nuestro proceso es adecuado. Nuestro valor de CP y CPK es aceptable a pesar de que existen varios puntos fuera de control, esto se debe a que los límites de especificación son amplios, esto quiere decir que ninguna biela será desechada. Es importante mencionar que visualizamos tendencias ascendentes y descendentes y algunos valores atípicos. Podemos decir que esto se debe a causas comunes de variación por ejemplo; maquina, material, mano de obra, mediciones, medio ambiente (temperatura), ya que no se observan puntos fuera de especificación que podamos determinar como una causa especial de variación.

Ya que nuestro objetivo es beneficiar al cliente para reducir su consumo de herramientas de corte (insertos, cortadores, brocas, etc.) en el siguiente capítulo se propone la implementación de herramientas de solución de problemas para la reducción de variación en la dureza.

## Capítulo VI. 8 D's

La implementación del control estadístico del proceso nos permitió hacer observable la inestabilidad de la dureza en las bielas, por tal motivo es de suma importancia la gestión de mejora en el proceso, para reducir las causas variación, por lo tanto se recomienda lo siguiente:

Existen diferentes metodologías que ayudan a diferenciar un **síntoma** de un **problema** o una **causa**, ya que en muchas ocasiones determinar la mejor solución es lo complicado.

Algunas de las metodologías más conocidas son:

- 8 D's
- A3
- 5 Por que's
- 5 Pasos
- Ishikawa
- Lluvia de ideas
- Árbol de decisión.

Y de acuerdo a estas metodologías se recurren a las siguientes tipos de acciones:

- **Acción de contención:** Acción tomada para detener el efecto de la no conformidad.
- **Acción correctiva:** Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

Nota 1. Puede haber más de una causa para una no conformidad.

TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO

- **Acción preventiva:** Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencial no deseable.

Nota 1. Puede haber más de una causa para una no conformidad potencial.

Nota 2. La acción preventiva se toma para prevenir que algo suceda.

- **Acción de mejora:** Es toda acción que incrementa la capacidad del SGC (Sistema de Gestión de Calidad) para cumplir con los requisitos y que no actúa sobre problemas reales o potenciales ni sobre sus causas.

**Ej.** En un maratón, podríamos decir que una acción de mejora ayuda al corredor a ir más rápido, mientras que las acciones correctivas y preventivas le ayudan a tropezar menos.

A continuación se muestra la herramienta que será utilizada para solución de problemas y su desarrollo.

- 8 D's

ETAPA	DEFINIR (D1-2)	MEDIR (D3)	ANALIZAR (D4)	MEJORAR (D5-7)	CONTROL/ EFECTIVIDAD (D8)
OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK

D1.- Definir equipo

D2.- Descripción del problema

D3.- Acciones de contención

D4a.- Analizar: Análisis de Ishikawa

D4b.- 5 Por qué's

D5.- Mejorar: Acciones correctivas

D6.- Mejorar: Acciones preventivas

D7.- Mejorar: Control / Efectividad

D8.- Cerrar el problema

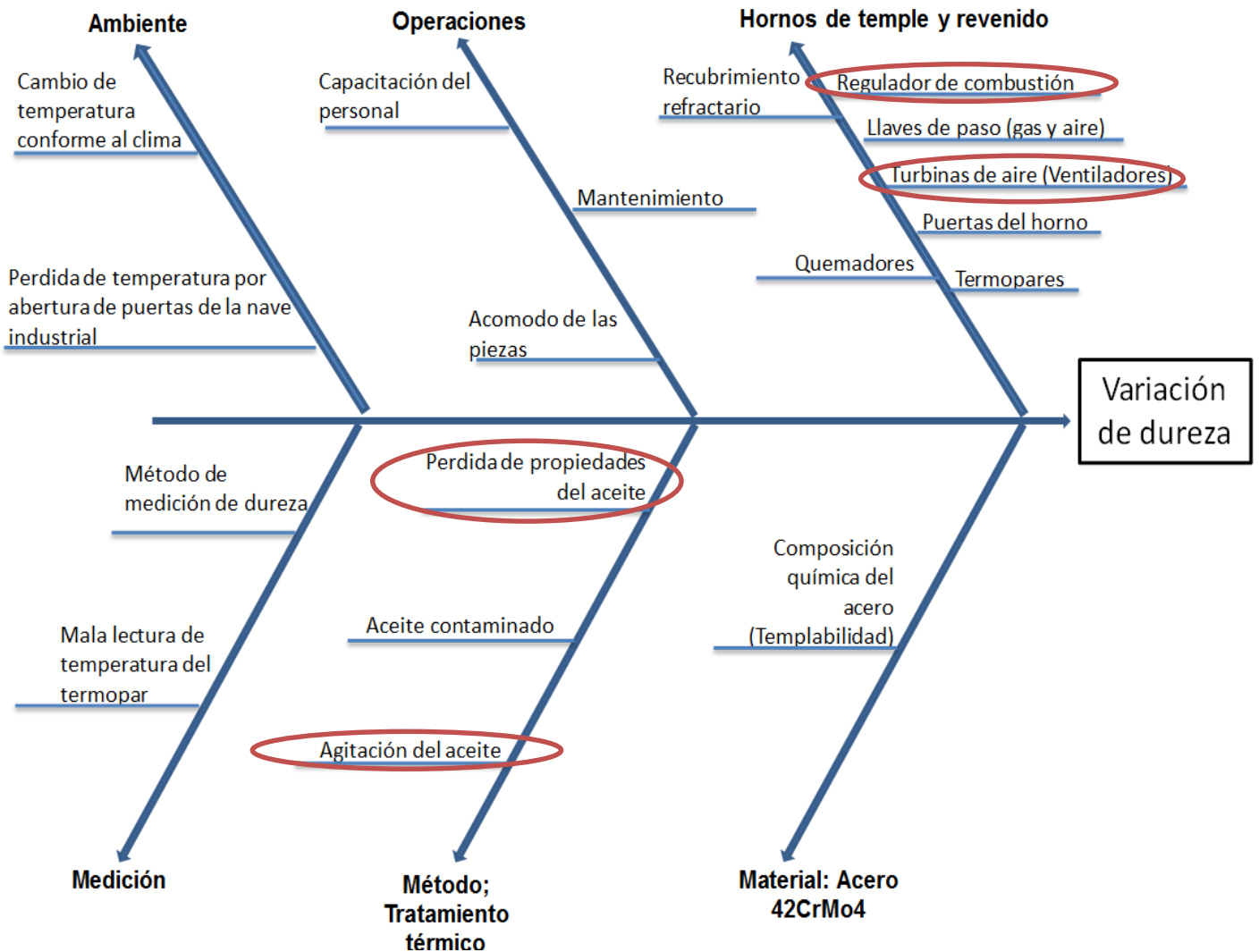
**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

<b>D1. EQUIPO</b>	
Líder y analista	
David Gómez – Laboratorista Metalúrgico (Tesisista)	

<b>D2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA / DESVIACIÓN</b>	
Área:	Operación maquinado (Cliente)
Descripción del problema / desviación:	Durante las operaciones de maquinado del cliente se detecta la reducción de la vida útil de las herramientas así como colisiones de la herramienta y modificaciones constantes de parámetros del maquinado debido a la dureza.

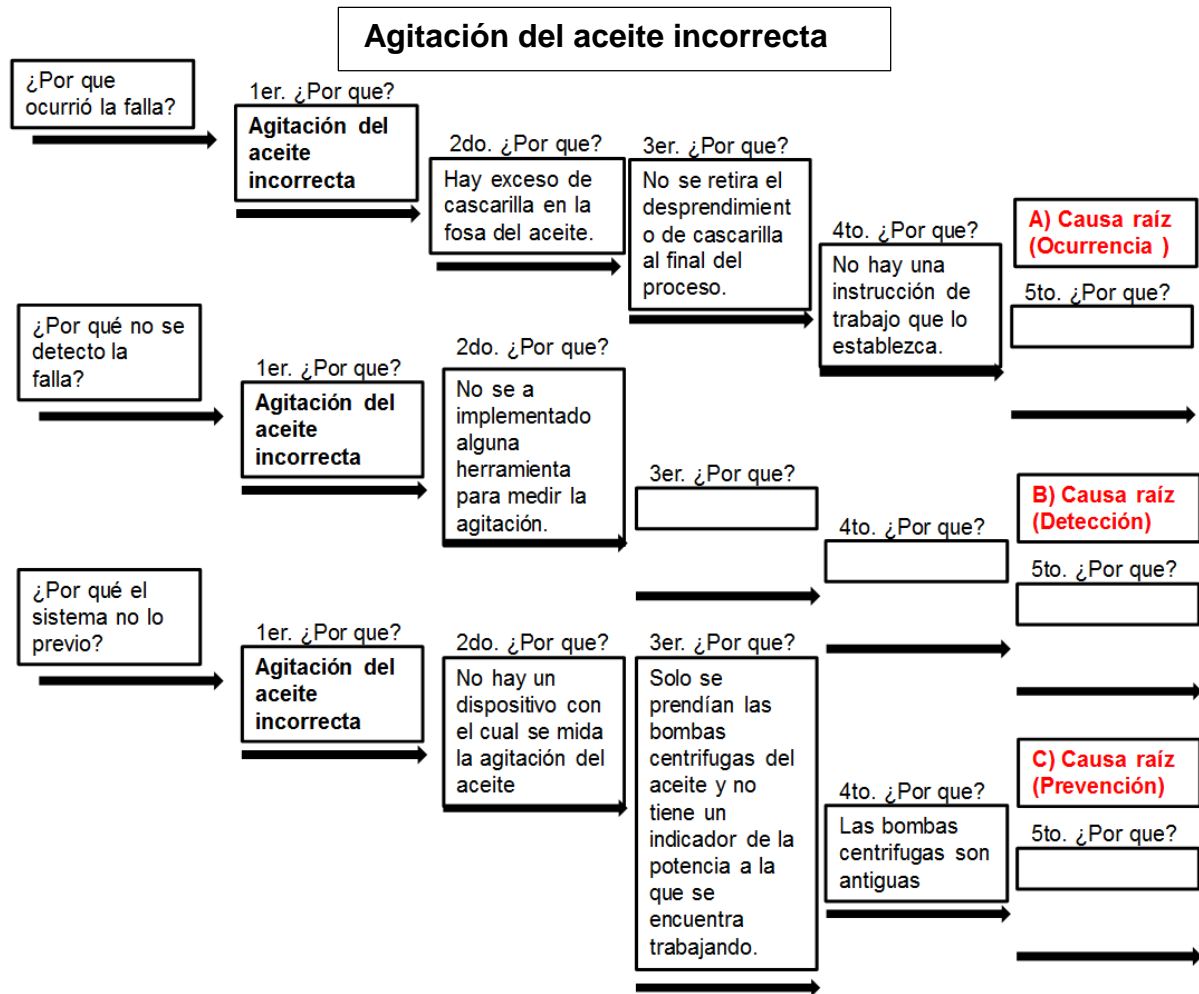
<b>D3. ACCIONES DE CONTENCIÓN (MEDIR)</b>		
Que	Quien	Cuando
1. Reducir la frecuencia de monitoreo de dureza, para aumentar la eficacia de la detección de la variación.	Laboratorio metalúrgico	Durante todo el proceso

**D4a. ANALIZAR “DIAGRAMA DE ISHIKAWA”**



Se marca con rojo las causas raíz para ser analizadas con la herramienta 5 ¿Por qué?

**D4b. ANALISIS 5 ¿Por qué? EN TRES NIVELES Y APLICACIÓN DE D5, D6 Y D7**



**D5. MEJORAR; ACCIONES CORRECTIVAS “A) OCURRENCIA”**

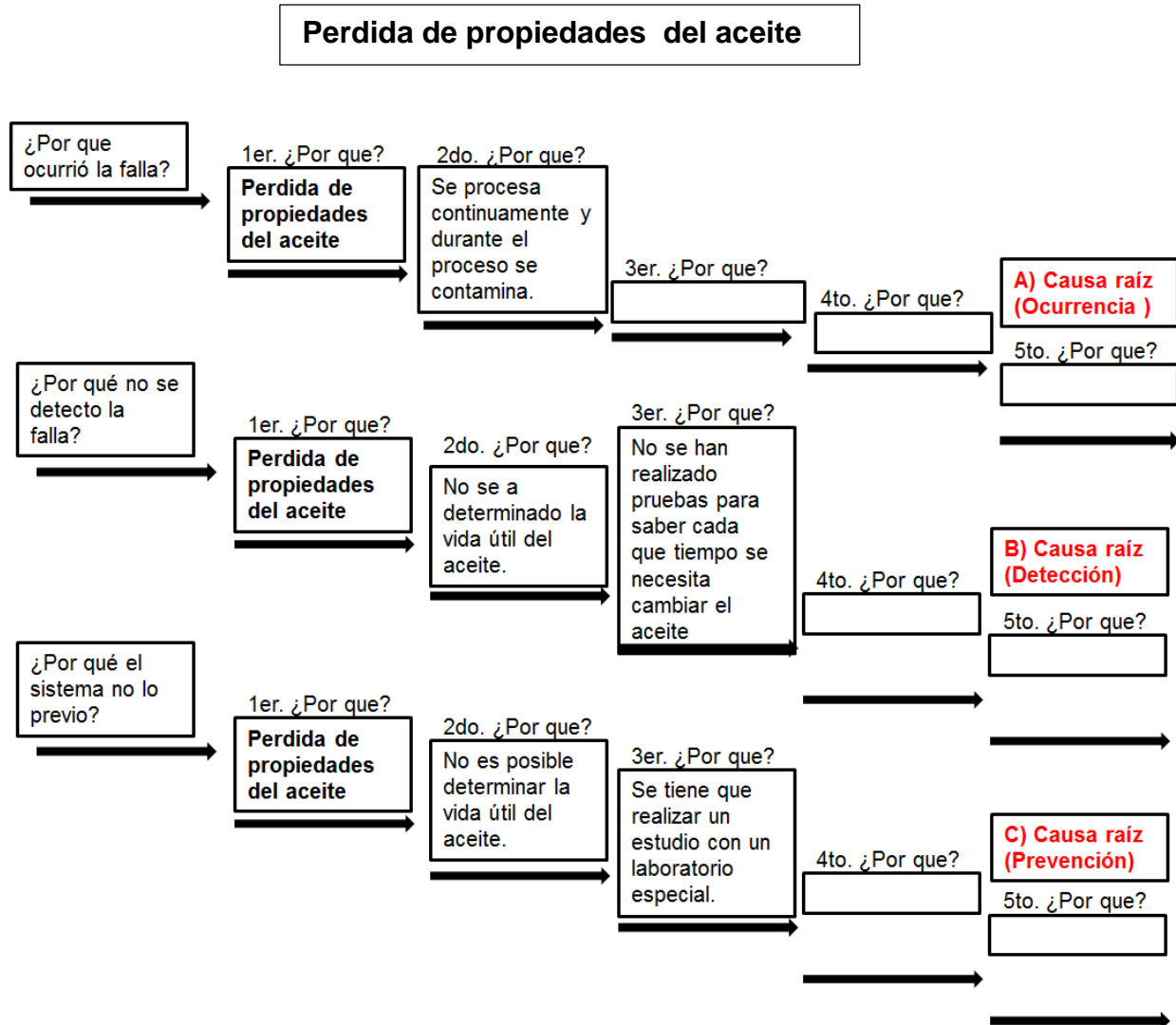
1. Generar una instrucción de trabajo que establezca el método de limpieza y las fechas periódicas de limpieza.
2. Capacitar al personal para la ejecución de la instrucción de trabajo.

**D6. MEJORAR; ACCIONES PREVENTIVAS “B) DETECCION”**

1. Se propondrá a gerencia la compra e instalación de un sistema de agitación (agitadores) para el control y medición de la agitación del aceite para elevar la homogenización de temperatura.

**D7. MEJORAR; ACCIONES CONTROL / EFECTIVIDAD “C) PREVENCION”**

1. Gestionar con el departamento de mantenimiento la ejecución de mantenimientos preventivos a las bombas centrifugas.



**D5. MEJORAR; ACCIONES CORRECTIVAS “A) OCURRENCIA”**

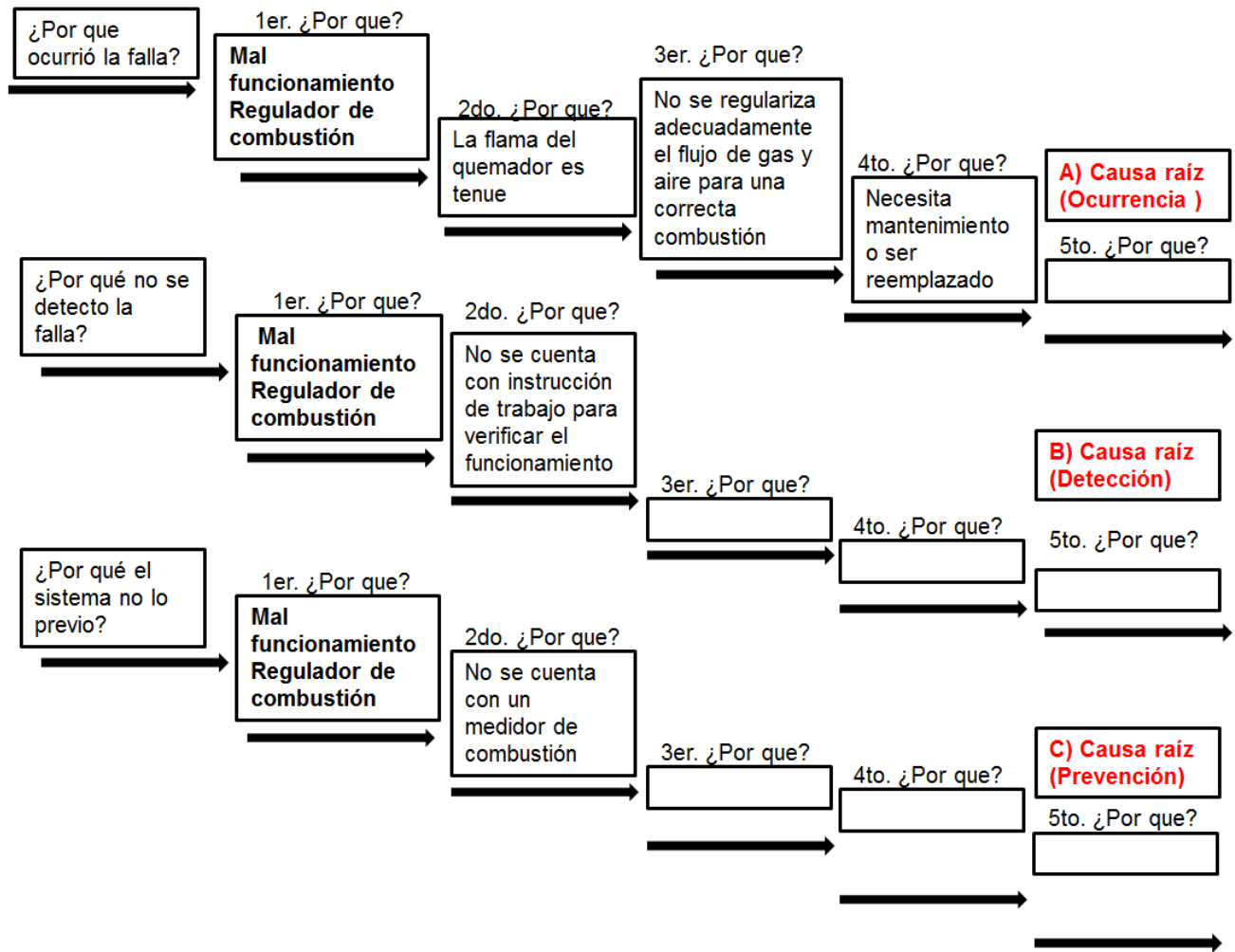
**D6. MEJORAR; ACCIONES PREVENTIVAS “B) DETECCION”**

1. Realizar un estudio para determinar la vida útil del aceite, verificando las propiedades como la oxidación debida al sobrecalentamiento, cambios de viscosidad como resultado de la oxidación o la contaminación, ingreso de agua al sistema (en forma directa o por condensación), y agotamiento del paquete de aditivos.

**D7. MEJORAR; ACCIONES CONTROL / EFECTIVIDAD “C) PREVENCION”**

1. Programar continuamente estudios para validar la vida útil del aceite.

**Mal funcionamiento del Regulador de combustión**



**D5. MEJORAR; ACCIONES CORRECTIVAS “A) OCURRENCIA”**

1. Monitoreo de la vida útil del regulador de combustión.
2. Cambio del regulador de combustión.

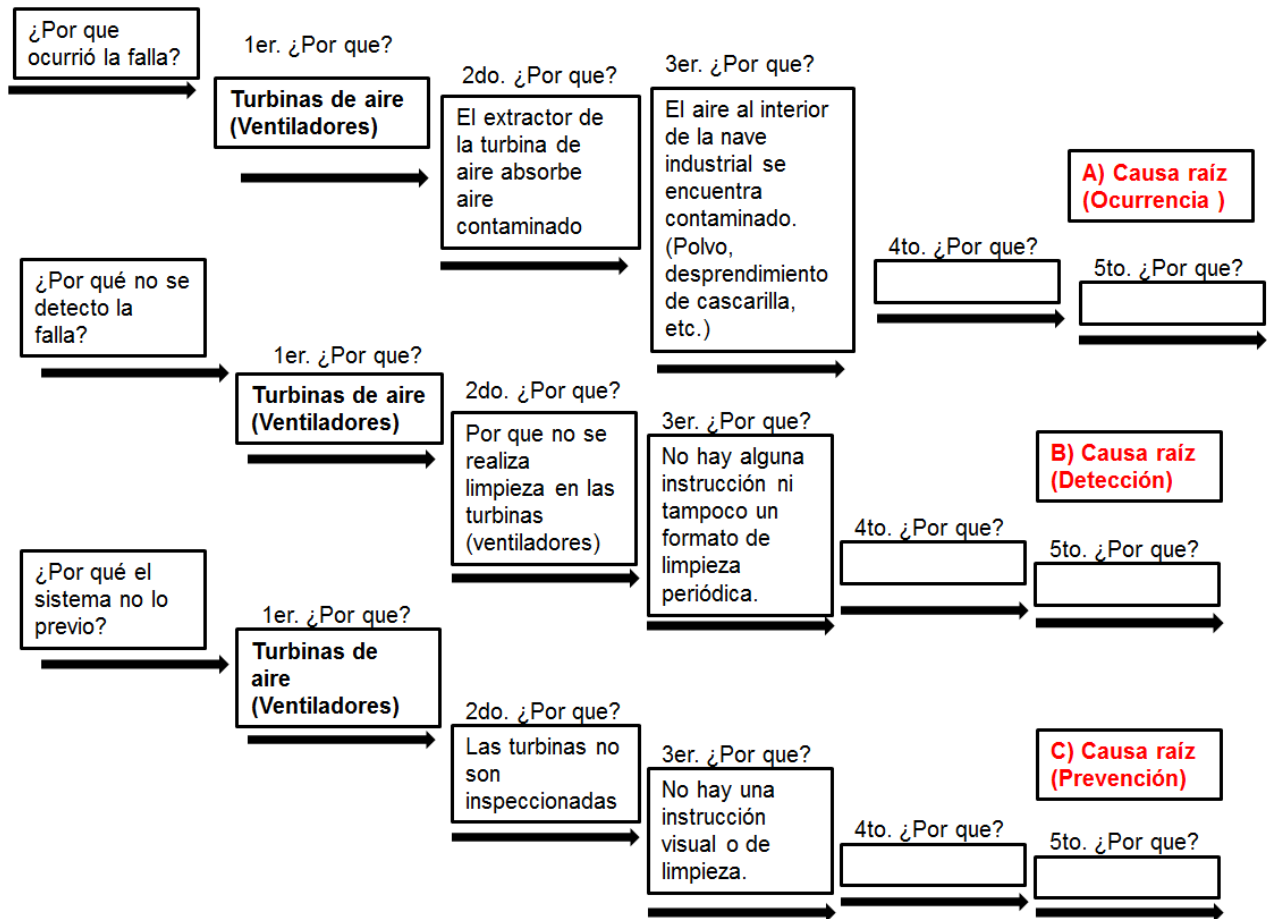
**D6. MEJORAR; ACCIONES PREVENTIVAS “B) DETECCION”**

1. Generar una instrucción de inspección del funcionamiento de los reguladores de combustión.

**D7. MEJORAR; ACCIONES CONTROL / EFECTIVIDAD “C) PREVENCION”**

1. Adquirir una medidor de combustión para su monitoreo.

**Mal funcionamiento de las turbinas de aire (Ventiladores)**



**D5. MEJORAR; ACCIONES CORRECTIVAS “A) OCURRENCIA”**

- Colocar filtros para retención de partículas que puedan dañar el funcionamiento mecánico de las turbinas de aire (ventiladores).

**D6. MEJORAR; ACCIONES PREVENTIVAS “B) DETECCION”**

- Al inicio de cada jornada realizar una inspección básica.

**D7. MEJORAR; ACCIONES CONTROL / EFECTIVIDAD “C) PREVENCION”**

- Implementar programa de limpieza.

*“Una vez implementadas las acciones correctivas y preventivas se puede eliminar la D3”*

**D8. ESTADO DE LA HERRAMIENTA DE SOLUCION DE PROBLEMAS**

Se concluye análisis

## **VI.1 Conclusión**

Replanteando nuevamente el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto que en grandes rasgos es beneficiar a nuestro cliente mejorando su proceso de maquinado.

Se propone a la empresa ThyssenKrupp Metalúrgica de México, S. A. de C. V realizar las siguientes acciones, esperando que estas acciones tengan un resultado satisfactorio para el proceso.

Para la parte del control estadístico se propone:

-Implementar gráficos del control para el monitoreo del proceso de tratamiento térmico, con el objetivo de poder identificar las tendencias de posibles causas especiales, para posteriormente ser corregidas evitando variaciones mayores en el proceso.

-Al término de proceso realizar un estudio con la paquetería de Minitab para analizar los datos de confianza identificando la capacidad del proceso (CP) y la capacidad real del proceso (CPK)

Por el lado operacional se propone:

-Llevar a cabo las acciones “Preventivas, correctivas y de control” mencionadas en el capítulo VI de la herramienta de solución de problemas 8 D’s.

-Adicionalmente se propone realizar un estudio de habilidad de temperatura dentro del horno, para de esta manera descartar que no existan fugas de temperatura que puedan afectar el desarrollo del proceso de tratamiento térmico.

-Reducir periodos de mantenimiento para:

1. Termopar
2. Puertas de los hornos (Evitando fugas de temperatura)
3. Mantenimiento a bombas centrifugas del aceite (bombas de agitación)

**TESIS IMPLEMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SPC PARA DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE  
TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE Y REVENIDO**

4. Verificar continuamente el estado Refractorio de recubrimiento interno del horno
5. Realizar una centrifugación del aceite anual para limpiar el aceite de temple
6. Implementación: instalar agitadores y realizar pruebas para saber a cuantas revoluciones se debe estar agitado el aceite con el objetivo de lograr una temperatura homogénea logrando una transformación de microestructura completa (Propuesta también mencionada en las 8 D's).

## **Bibliografía**

- Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation. (Julio 2005). *Control estadístico de los procesos (SPC)* (2da ed.). Recuperado el 2017
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2008). *Tratamientos Termicos Protocolo. curso de materiales*. Recuperado el 2017
- Gerdau Aza S.A. (2000). *Compendio de normas para productos de acero. 3ra.* Santiago, Chile. Recuperado el 2017, de [www.gerdau.cl/acero/gerdau-participa-en-seminario-de-la-asociacion-de-ingenieros-civiles-estructurales-de-chile/](http://www.gerdau.cl/acero/gerdau-participa-en-seminario-de-la-asociacion-de-ingenieros-civiles-estructurales-de-chile/)
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vara Salazar , R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (2da ed.). México, D.F.: Mc.Graw-Hill. Recuperado el 2017
- Instituto para Formacion y Desarrollo Volkswagen. (2007). *Control Estadístico del Proceso*. Recuperado el 2017
- Nava Ruiz, D. (2016). *Introducción a los Tratamientos Térmicos.*, (pág. 176). Puebla, Mexico.
- Pulido, H. G. (2010). *Calidad total y productividad* (3ra ed.). México, D.F.: McGraw-Hill. Recuperado el 2017