

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS Y ANÁLISIS DE
PROBLEMAS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS
DE ACERO EN LA EMPRESA ACEROS CHILCA SAC, LIMA –
2021**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Cesar Roland Torres Soria
Timoteo Segundo Alonso Ortega

Asesor:

Mg. Danny Stephan Zelada Mosquera
<https://orcid.org/0000-0003-3896-7666>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ricardo Villena Presentación	09942426
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez	10810440
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Néstor Miguel Geldres Rosales	10202333
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedicado a la Juventud migrante de todas las regiones del país que salen en busca de una mejora de calidad de vida, llevando progreso a sus familias claudicando el esfuerzo con el logro satisfactorio.

A mis padres, a mi esposa e hijos, quienes han sido la fortaleza y el soporte para poder llegar hasta esta etapa de mi carrera, que con su apoyo dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aún cuanto todo se complicaba, los amo.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias por haber tolerado estos años de vida universitaria, a nuestros colegas de trabajo y compañeros de aula por las experiencias y el trabajo en equipo, a la plana docente de la UPN por la formación académica y transmisión de experiencias propias de cada especialidad y finalmente a la empresa Aceros Chilca SAC por brindarnos los permisos y acceso a la información para el desarrollo de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	27
1.2.1. Problema General	27
1.2.2. Problemas Específicos	27
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo General	27
1.3.2. Objetivos Específicos	28
Justificación General	28
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS	36

3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	36
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y HALLAZGOS.	45
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	52
4.1. DISCUSIÓN	52
4.2. CONCLUSIONES	55
4.3. RECOMENDACIONES.	56
REFERENCIAS	57
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Los cuatro estados de un proceso.....</i>	21
Tabla 2. <i>Interpretación del índice de capacidad potencial del proceso.....</i>	22
Tabla 3. <i>Población (03 Ordenes de Producción).....</i>	31
Tabla 4. <i>Método de la recolección de datos según la técnica e instrumento.....</i>	33
Tabla 5. <i>Total, de Piezas no liberadas por rango de dureza de enero a setiembre 2021</i>	36
Tabla 6. <i>Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 622-673 BHN de un lote de 120 piezas fundidas.</i>	39
Tabla 7. <i>Frecuencias de dureza alta y baja, por rango de dureza y cliente.</i>	46
Tabla 8. <i>Costo de producción de piezas no liberadas por tipo de metal y peso.</i>	48
Tabla 9. <i>Frecuencias de las 6 M.....</i>	50
Tabla 10. <i>Diagrama SIPOC de la fabricación de los Forros.....</i>	99
Tabla 11. <i>Facturación por Piezas y clientes de Enero a Setiembre 2021</i>	109
Tabla 12 <i>Total de Piezas producidas por tipo de metal y rango de dureza de enero - Setiembre 2021</i>	111
Tabla 13 <i>Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 600-650 BHN de un lote de 57 piezas fundidas.</i>	112
Tabla 14 <i>Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 321-375 BHN lote. de 112 pieza fundidas</i>	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque y diseño de la investigación.....	31
Figura 3. Procedimiento de recolección de datos.....	35
Figura 4. Análisis Pareto de las piezas no liberadas por rango de dureza.....	37
Figura 5. Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 622-673 BHN del metal AM-2E	40
Figura 6. Capacidad potencial del proceso con rango de dureza 622-673 BHN del metal AM-2E	42
Figura 7. Frecuencias de dureza alta y baja, por rango de dureza y cliente.....	47
Figura 8. Costo de producción de piezas no liberadas por tipo de metal y peso.	48
Figura 9. Diagrama Ishicawa de las alteraciones de la dureza	49
Figura 10. Análisis Pareto de las causas de las alteraciones de dureza.	51
Figura 11. Proceso de entrada y salida.....	79
Figura 12. Histograma de frecuencias.....	81
Figura 13. Gráficas de control y su estructura.....	82
Figura 14. Carta de rangos móviles para la temperatura	83
Figura 15. Significado de los resultados del índice CPK.....	85
Figura 16. Cristales de ferrita y perlita en un acero de 0,35% de carbono recocido.	91
Figura 17. Ensayo de Brinell	95
Figura 18. Diámetro del casquete esférico.....	96
Figura 19. Mapa de procesos de direccionamiento de estratégico, elaboración propia.....	97
Figura 20. Proceso productivo de piezas de acero.....	98
Figura 21. Proceso de moldeado.	101
Figura 22. Proceso de Vaciado.....	101
Figura 23. Proceso de Enfriamiento.	102
Figura 24. Proceso de Desmoldeo	103

Figura 25. <i>Proceso de Acabados Primario.</i>	103
Figura 26. <i>Diagrama de bloques de TT.</i>	104
Figura 27. <i>Proceso tratamiento térmico y soplado</i>	105
Figura 28. <i>Proceso acabado final.</i>	105
Figura 29. <i>Proceso tratamiento pintado y embalaje.</i>	106
Figura 30. <i>Proceso de toma de dureza.</i>	107
Figura 31. <i>Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 600-650 BHN del metal A-2E</i>	113
Figura 32. <i>Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 321-375 BHN del metal AC-4H</i>	115
Figura 33. <i>Capacidad potencial de proceso de durezas 321-375 BHN del metal AC-4H</i>	116

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Flujograma de producción de piezas fundidas:	61
Anexo B. Matriz de consistencia	63
Anexo C. Cuadro de Operacionalización de Variables.	64
Anexo D. Familia de aceros por aleación:	65
Anexo E. Hoja de ruta de acería, desmoldeo y acabados primarios.	66
Anexo F. Hoja de ruta de acabados y tratamiento térmico	67
Anexo G. Hoja de ruta control de calidad	68
Anexo H. Reporte de No Conformidad	69
Anexo I. Registro de inspecciones diarias (Durezas para la matriz).	71
Anexo J. Los índices Cp, Cpi y Cps en términos de cantidad de piezas malas, bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación.	73
Anexo K. Registro de durezas Brinell de rango 622-673 del metal AM-2E.	74
Anexo L. Registro de durezas Brinell de rango 600-650 del metal AM-2E	75
Anexo M. Registro de durezas Brinell de rango 321-375 del metal AC-4H	76
Anexo N. Definiciones de Control estadístico de procesos.	79
Anexo O. Definiciones de tratamiento térmico.	85
Anexo P. Tipos de ensayos de dureza.	95
Anexo Q. Definición de procesos de Aceros Chilca (Mepsa).	99
Anexo R. Facturación por Piezas y clientes de Enero a Setiembre 2021.	109
Anexo S. Total, de Piezas producidas por tipo de metal y rango de dureza de enero - Setiembre 2021	111
Anexo T. Resultados de otros rangos de dureza.	112

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general aplicar control estadístico de procesos para identificar problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

El control estadístico de procesos consta de técnicas y herramientas de recolección de datos y análisis con respecto a la variación de un proceso para medir y controlar sus desviaciones que en el tiempo afectan la característica de calidad de requerimiento del cliente, que en nuestro caso se trata de encontrar las causas de las alteraciones de la dureza de las piezas de acero fundidas por los diversos procesos de tratamiento térmico. La metodología aplicada fue de observación y análisis de datos históricos con programas de Excel y Minitab, los resultados arrojaron que para la dimensión carta de control el proceso se encuentra inestable por causas comunes y para capacidad potencial y real del proceso se identificó que el proceso no es capaz de cumplir con el requerimiento de durezas de los clientes, determinándose que los problemas de la baja y alta dureza están ubicadas en la 3 M, la medición, método y maquinaria tales como que no se cumple con el tiempo de enfriamiento en soplado, temperatura alta y baja al revenido, mala ubicación de las campaña de soplado, entre otras; por lo cual se recomienda mejorar los controles de los tiempos, temperaturas y recortar la distancia de los ventiladores hacia los hornos de tratamiento térmico.

PALABRAS CLAVES: Control estadístico de procesos, cartas de control, capacidad potencial del proceso, capacidad real del proceso, durezas y tratamiento térmico.

ABSTRACT

The present investigation had as a general objective to apply statistical process control to identify problems in the heat treatment of steel parts in the company Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

Statistical process control consists of techniques and tools for data collection and analysis regarding the variation of a process to measure and control its deviations that affect the quality characteristic of the client's requirement over time, which in our case is to find the causes of changes in the hardness of cast steel parts by various heat treatment processes. The methodology applied was observation and analysis of historical data with Excel and Minitab programs, the results showed that for the control letter dimension the process is unstable due to common causes and for potential and real capacity of the process it was identified that the process does not It is capable of meeting the hardness requirements of customers, determining that the problems of low and high hardness are located in 3M, the measurement, method and machinery such as that the cooling time in blowing is not met, high and low tempering temperature, bad location of the blowing campaign, among others; For this reason, it is recommended to improve the controls of times, temperatures and cut the distance of the fans to the heat treatment furnaces.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El mayor estímulo al crecimiento económico y al desarrollo organizacional de las empresas en todos los sectores industriales, no se miden por las inversiones en nuevas plantas, por la importación de nuevas tecnologías, o por contar con buen número de empleados, si no por sus indicadores rentabilidad y calidad, los mismos que deben ser claros y establecidas sobre el control estadístico de procesos dentro de un sistema productivo y ser evaluados detenidamente y continuamente, sin dejar de lado los costos operativos, tales como: costo de adquisición, costo de operación, costo de falla, costo de soporte y el valor de rescate neto. Esto con la finalidad de aplicar las técnicas de monitoreo y seguimiento ajustados a la mejora continua de los procesos de mantenimiento preventivo, buscando así minimizar y reducir las pérdidas y a la vez maximizando los usos y beneficios de estos equipos/máquinas y herramientas (Patil, Kothavale, Waghmode, & Pecht, 2019).

Según Uribe(2021) las necesidades de aplicar el control estadísticos de procesos, se derivan en el proceso operacional de una organización, llevándolos hacia la búsqueda de resolver problemas, a fin de disminuir los errores derivados del proceso productivo, mediante la implementación de herramientas de métodos estadísticos de control de procesos inferiendo en el índice de capacidad de proceso, índice de capacidad real de proceso y las gráficas de control; las mismas que son fundamentales y necesarias para aminorar el número de objetos defectuosos, de esta manera reducir los costos directos y obviamente mejorar la calidad y a largo tiempo tener competitividad y costenibilidad, (pág. 12).

Para ADS Quality(2018) las herramientas convencionales, modificación de los productos y exigencias del cliente, están vinculados al desarrollo de evaluación del producto final y que éstos son separadas al no cumplir con las exigencias requeridas. Implicando la inversión económica, recursos, pérdida de tiempo, que al final no va a ser utilizado y también resulta ser una actividad no eficaz. Siendo necesario enfocar actividades de prevención mediante la aplicación e implementación de herramientas de control de calidad que ayude a monitorear y detectar las fallas durante todo el proceso productivo, (pág. 15).

Según Gutiérrez(2017) es necesario que las empresas dupliquen sus esfuerzos para desarrollar actividades operacionales cada vez mejor, ahorrando tiempo y costo y recursos económicos; obviamente sin variar la calidad del producto. Esto demanda que las empresas deben adaptarse innovando productos y servicios a la exigencia del cliente en un mundo globalizado; aquí el personal juega un papel clave en todos los niveles jerárquicos; siendo urgente formar desde adentro hacia afuera según estos cuatro niveles Personal: confiabilidad, Interpersonal: confianza, Gerencial: Otorgar poder, Organizacional: Alineamiento. Si la empresa no enfrenta este desafío de manera adecuada tendrá problemas muy serios que puede conllevar a la desaparición de la empresa sin importar el tamaño y el rubro, (págs. 1-5).

Con respecto al tratamiento térmico, las empresas de metal-mecánicas en ocasiones sufren diversos problemas tales como la clasificación de aleaciones de acero, falta de procedimientos específicos de trabajo, el personal no capacitado para este tipo de trabajo, los equipos y máquinas no cuentan con mantenimiento preventivo y solo se dedican en fallas correctivas, ocasionando la alta variabilidad en las durezas de las piezas de acero, después de su tratamiento térmico, como consecuencia genera reprocesos en tratamiento térmico y mayor consumo de energía, requiere más mano de obra en acabados. Para evitar diversas anomalías

las organizaciones deben cumplir con requisitos y procedimientos específicos, asimismo el personal técnico debe contar con la formación teórica y práctica sobre todo tenga las experiencias necesarias para tomar decisiones adecuadas y de esta manera ejecutar soluciones idóneas en el trabajo (Aliaga Garcia, 2020).

Para Díaz del Castillo y Reyes(2012) el tratamiento térmico es una ciencia y no un proceso que por arte de magia y al azar del destino proporciona la mejor solución, siendo necesario contar con un profesional que posea conocimiento teórico y experiencia amplia en el manejo correcto de tratamiento térmico de aceros según su clasificación: el recocido, normalizado, el temple / templado, revenido y por ultimo los tratamientos térmicos especiales, solo así estará en condiciones de cumplir con las exigencias encomendadas. Sobre todo durante el tratamiento de cíclico de “calentamiento, mantenimiento a la temperatura seleccionada y un ciclo de enfriamiento”, estos tres ciclos van a depender mucho de tamaño, espesor y forma de cada pieza. Por esta razón es necesario tomar en cuenta los factores ya señalados anteriormente, con la finalidad de establecer con exactitud las condiciones óptimas y obteniendo los resultados esperados en la ductilidad, dureza, y resistencia de las piezas, (pág. 94).

De esta forma los antecedentes nacionales se manifiestan en las siguientes investigaciones realizadas tales como: En la Universidad Nacional Agraria La Molina, tuvo como objetivo aplicar un control estadístico de proceso en la etapa de embolsado de Leche Pasteurizada desarrollado en la Planta Piloto de Leche de la UNALM, a fin de monitorear y controlar el proceso de embolsado. Para ello, aplicó técnicas de control estadístico de procesos mediante un software (Minitab V.16.), el cual facilitó el almacenamiento y análisis de datos. Previo realizó levantamiento información todo el proceso de producción, tuvo en cuenta las características, las variables relacionadas, descripción de cada proceso y los equipos

industriales utilizado en la planta piloto. Con el resultado de este estudio sostiene que halló inestabilidad y es homogénea con un valor $C_p = 0.34$, siendo el promedio del valor de gramaje 982,11 de leche embolsado el cual tenía una desviación estándar 4,84 y un coeficiente de variabilidad de 0,49 y con respecto a la capacidad real de proceso el valor $C_{pk} = 0.20$, indicando que el límite se encontraba dentro de los parámetros establecidos entre $\text{Peso} = 980\text{gr} \pm 5\text{gr}$. Concluyó que debe de modificarse y hacer cambios en los procesos y procedimientos de las líneas de producción o adquirir nueva máquina. (Ferrel, 2016).

Siguiendo la línea de antecedentes, se presenta este estudio de mejora del proceso productivo para disminuir el indicador de reprocesos a través de las 7 herramientas de la calidad en la empresa metalúrgica Vulcano SAC, Huachipa en el año 2017, tuvo como objetivo determinar el grado de influencia que tiene dichas herramientas dentro del proceso productivo, encontrando como resultado que el subproceso de fundición es el que tiene más reprocesos, así mismo se identificó que el producto que más rechazado es el SAE 620 (bronce al estaño), concluyó que debe implementar 5S, capacitación a personal operario, compra de equipos y herramientas para medición (Tipian, 2017).

La siguiente investigación tuvo como objetivo elaborar un control estadístico para mejorar la eficiencia del sistema de riego en el proceso de lixiviación en la empresa Minera Barrick Misquichilca S.A. - Huaraz. La muestra considerada fue de 35 celdas de lixiviación, para recolectar datos utilizó una guía de seguimiento de riego. Los resultados obtenidos se presentaron mediante gráficos de control X-R y análisis ABC, arrojando una media aritmética de 91.330%. antes y de 92.476% después teniendo un incremento de eficacia de 1.146%, concluyó que la propuesta implementada ha tenido efectos positivos en el proceso de lixiviación (Jamanca, 2017).

El estudio realizado en la Empresa Aceros del Perú SAC, tuvo como objetivo implementar la ingeniería de métodos para reducir el costo y tiempo e incrementar la productividad, para medir la muestra comprendía de 3 meses antes para el pre-test y 3 meses después de la implementación para el pos-test. La metodología aplicada fue pre – experimental de nivel aplicada, y de enfoque cuantitativo para la estadística inferencial utilizó el *T-Student*, obtenido como resultado de mejora en productividad antes (55.667%) indicando que es menor a la media de productividad después (77.33%,). Concluyó que la implementación de la ingeniería de métodos ayuda a mejorar el proceso de tratamiento térmico (Meza, 2018).

El presente estudio tiene como objetivo de medir el control estadístico de procesos y su influencia en la productividad en una empresa de taller y artesanías. Para obtener datos de producción CEP utilizó el compendio documental. Con los resultados de la aplicación de gráfica de control se encontraba fuera de rango, siendo así la estabilidad de procesos, se ubicó en 26.29 de índice de proceso y su eficacia de 96.25 %. Con respecto la capacidad de proceso tuvo como resultado el índice de $C_p = 0.447$, el cual es a menos 1. Concluyó que la aplicación de mejora del control estadístico de procesos en la productividad fue 1.98 a 2.07, el cual indica que el método aplicado es óptimo, (Guerrero, 2019).

Para los antecedentes internacionales vamos a presentar las siguientes investigaciones: La investigación realizada en la empresa ThyssenKrupp Metalúrgica de México, S. A. de C.V. propone implementar e interpretar el control estadístico de procesos para diagnóstico del proceso de tratamiento térmico temple y revenido. Para ello realiza el diagnóstico, mediante el uso de las gráficas de control con el fin de identificar en el área de tratamiento térmico las causas de variabilidad para aplicar medidas correctivas y tomar el control con las mediciones propias del proceso. Además, para medir se recomienda usar el software Minitab para recopilar

y tratar los datos estadísticos resumidos en índices como capacidad del proceso (CP) y la capacidad real del proceso (CPK) y como gestión operativa aplicar la herramienta de solución de problemas 8 D's (Gómez, 2018).

Esta investigación tuvo como objetivo establecer los parámetros técnicos constructivos del horno para lograr la mejora del proceso de tratamiento térmico de la Unidad Empresarial en Base a fundición, para ello se hace valorización económica en principio a los costos de modificación del horno, costo de preparación y de tratamiento. Teniendo como resultado el promedio de consumo de combustible de 748 kg. Para los cuatros quemadores nuevos una vez colocados evidenciando un cambio notorio en comparación a los quemadores antiguos. Concluyó con una mejora en la disminución de consumo de combustible por cada tipo de tratamiento térmico y además ahorran en los costos de reparación del horno (Peña, 2019).

Este estudio puntualizó en proponer la disminución de la variabilidad de la adición del Hierro en el proceso de elaboración de la fórmula láctea NIDO Kinder 1, para ello, utilizó control estadístico de procesos previo realizó el diagnóstico con la herramienta cualitativa espina de pescado y la herramienta cuantitativa utilizó gráfico de Pareto, y análisis de datos el software Minitab, obtenido como resultado de 57.7 % de existencia de fallas en la mallas de zarandeo ya está falla solidificaba los minerales utilizados en la elaboración de la leche, haciendo necesario que adicione el hierro de forma manual y directa. Concluyó que se debe de realizar el cambio de mallas en el proceso de tamizado de los minerales de hierro, así mismo una supervisión continúa del proceso sobre los componentes de la fórmula para cumplir los estándares (Bocardo, 2019).

La investigación desarrollada a la tesis aborda El Control de Calidad de Proceso de Tratamiento Térmico de Chapas de un Acero para Blindaje 30XГCA, la dimensión es de 200

x 200 x 8 mm y 6 mm, toma acciones sistemáticas para describir el proceso de control de tratamiento térmico y el antes de inspección y ensayos de los aceros, durante el control de los procesos, y posteriormente la inspección y ensayo final. Desarrolla un diagrama de flujo de procesos de cada secuencia que se debe seguir para su ejecución de esta. Después aplicó el ensayo de Jominy, la curva de templabilidad del acero 30X7CA, obtenido como resultado mejora en la carta tecnológica con respecto el tratamiento térmico (Duffus, Céspedes, García, & Cruz, 2019).

El tratamiento térmico criogénico realizado para evaluar las características mecánicas de resistencia al desgaste y la micro dureza del acero para herramientas THYRODUR 2510. Los ensayos fueron realizados en tres tiempos diferentes, el primer ensayo de 48 horas, el segundo ensayo 72 horas y el tercer ensayo 120 horas, en la primera prueba obtuvo la resistencia de desgaste y pérdida de masa, en la segunda prueba de tratamiento si influyo favorablemente en la resistencia con 64%, y a la tercera prueba se obtuvo la resistencia de 92%, estos porcentajes se compara con un patrón sin tratamiento criogénico. Concluyó que el tratamiento térmico criogénico de 24 a 48 horas debe ser analizado a los procesos y evaluar los cambios de resistencia de material después del tratamiento aplicado (Aleans, 2017).

Según Evans & Lindsay(2008) es una aplicación del análisis estadístico para medir, monitorear y controlar procesos por medio de gráficas de control, que permite detectar a tiempo la ocurrencia de eventos con causas especiales para la toma de medidas correctivas antes de que en el proceso productivo se detecten no conformidades, así mismo nos da a conocer la capacidad o habilidad del proceso más la disminución de la variabilidad.

Las gráficas de control, Esta técnica tiene como fortaleza monitorear el proceso y su variación, mediante la compilación de datos en lugares críticos del proceso, para detectar y

corregir todas las variaciones en el proceso que puedan alterar a la calidad del producto o servicio final, disminuyendo el desperdicio y reprocesos para evitar inconvenientes en el resultado final. (Gómez y Gómez, 2019). Mide la variabilidad de un proceso por causas comunes y especiales, es una gráfica de monitoreo con una línea de control superior, una línea de control inferior y una línea de tendencia central, ver la figura 3.

Cartas individuales: es un diagrama para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos, como la carta \bar{X} -R, se aplica a procesos lentos, en los cuales para obtener una medición de la variable bajo análisis se requieren periodos relativamente largos. (Gutiérrez, 2017, pág. 253)

Carta de rangos móviles: Se utilizó como complemento al gráfico de las personas y representa el área móvil de segundo orden para ver cambios en la propagación del proceso. Aunque estudios recientes han demostrado que el gráfico individual es lo suficientemente robusto como para detectar cambios tanto en la media como en la variación del proceso. Debido a esto, existe una tendencia a usar solo las cartas individuales (Gutiérrez, Calida y productividad, 2017).

Índice de estabilidad St, el cual proporciona una medición de que tan inestable es un proceso, y con ello se podrán diferenciar los procesos que esporádicamente tengan puntos o señales especiales de variación, de los procesos muy inestables que con mucha frecuencia funcionan en presencia de causas especiales de variación (Gutiérrez, 2017, pág. 285).

$$St = \frac{\text{Numero de puntos especiales}}{\text{Numero total de puntos}} \times 100$$

Tabla 1. Los cuatro estados de un proceso

		¿El proceso es estable?	
		Herramientas: cartas de control e índice de estabilidad	
		Sí	No
¿El proceso es capaz?	Sí	A (estable y capaz)	B (capaz pero inestable)
Herramientas: estudios de capacidad e índices Cp y Cpk	No	C (estable pero incapaz)	D (inestable e incapaz)

Fuente Elaboración y Formulación: (Gutiérrez, 2017)

El proceso tipo D: esta estrategia se aplica a los procesos que tienen baja capacidad para cumplir con especificaciones y que, además, son altamente inestables, debido a que las causas especiales de variación aparecen con mucha frecuencia, por lo que es un proceso cuyo desempeño, de por sí malo, es difícil de pronosticar con certidumbre, (Gutiérrez, 2017, pág. 289). Ver la tabla 1.

Capacidad Potencial del proceso – CP, Para que un proceso sea productivo, sus valores deben de caer dentro de los límites superior e inferior, esto quiere decir que la capacidad del proceso debe de ser ± 3 con respecto a la media, o sea son 6 desviaciones estándar que un proceso tolera para que sea capaz de seguir produciendo sin mayores no conformidades, y se calcula con la siguiente fórmula y la tabla 1, (Gutiérrez, 2010). Fórmula de cálculo de capacidad de proceso:

$$C_p = \frac{\text{Especificación superior} - \text{especificación inferior}}{6\sigma}$$

Tabla 2. Interpretación del índice de capacidad potencial del proceso

Valor de índice Cp	Clase o categoría de proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma
$C_p > 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p \leq 1.33$	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.

Fuente Elaboración y Formulación: (Gutiérrez, 2010)

La capacidad potencial del proceso es un índice que se calcula como: $ICP = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$.

Compara la variación tolerada con la variación del proceso.

LSE: Límite superior especificación

LIE: Límite inferior especificado

El ICP está entre 1 y 4, dependiendo de la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones y asume que el proceso está centrado $ICP > 1,33$: Más que adecuado, el proceso satisface o cumple con las especificaciones. El proceso tiene potencial si $ICp \geq 2$: hay un proceso *Six Sigma World Quality* $1 < ICP > 1,33$: Adecuado para lo que fue diseñado. Requiere control directo si está cerca de 1, (Gómez y Gómez, 2019).

Capacidad Real del proceso – CPK, El índice de habilidad del proceso mide la diferencia que hay entre las dimensiones deseadas y las reales de los bienes y servicios producidos, (Gutiérrez, 2010).

Fórmula de cálculo de capacidad real del proceso:

$$C_{PK} = \text{Mínimo} \left[\frac{\text{Límite de especificación superior} - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - \text{Límite de especificación inferior}}{3\sigma} \right]$$

Donde:

\bar{X} = media del proceso

σ = Desviación estándar de la población de un proceso.

El ICPk es una relación de capacidad de proceso unilateral calculada con respecto al límite más cercano al promedio del proceso. Si ICPk = 1.06 e ICP = 1.55, el proceso está descentrado. Debe buscarse la causa por la que está descentrada. Muchas empresas utilizan un ICP = 1,33 como mínimo aceptable. Otras empresas requieren lograr un ICPk = 2.00, un proceso con un ICPk = 2.00, conocido como el proceso de seis sigmas. (Gómez y Gómez, 2019).

El Cpk se utiliza como promedio de cálculo. Este índice calcula cuántas veces cabe realmente la distribución tal como esté, centrada o no, cae realmente dentro del rango de tolerancia LTS-LTI (Cuatrecasas, 2017).

$$C_{Pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{LTS - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - LTI}{3s} \right]$$

El tratamiento térmico, se define como el modo de mejorar la resistencia, ductilidad, dureza y algunas otras propiedades de los metales a aquellos procesos que involucran temperatura, es decir, es la operación de calentamiento o enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para mejorar sus propiedades mecánicas (Becerra, Aguilar, Bernardino, & Santana, 2021).

Dureza: no es una propiedad completamente definida; Puede verse como la propiedad de que los metales deben ser más o menos resistentes al corte, abrasión, tensión, deformación, penetración y rayado, o puede verse como un conglomerado de las propiedades anteriores que tienen enormes efectos sobre el desempeño mecánico que tiene el material; es principalmente la resistencia a la penetración en la que se basan la mayoría de las pruebas de dureza estándar. Dado que la prueba de dureza solo tarda unos segundos y no daña la pieza, es la prueba más utilizada en la industria metalmeccánica y los resultados obtenidos son muy significativos ya que están estrechamente relacionados con la estructura y por tanto con las propiedades. Mecánica del material; A menudo, la única prueba que se utiliza para controlar las propiedades de las piezas tratadas térmicamente es la dureza (Forero, 2010).

Tratamiento templado (Temple), cuando un acero se calienta a 1,10% de C a 1.000°, es decir, por encima del punto crítico Accm, se modifica la estructura cristalina que tenía a temperatura ambiente para que el acero esté formado por cristales de austenita a esta temperatura. Estos cristales de austenita se despliegan a medida que el acero se enfría lentamente y se transforma en otros cristales de cementita y perlita que ya hemos examinado. Pero si calentamos una varilla de este acero con una longitud de lado de 1 cm a 1000° y luego la enfriamos muy rápidamente en agua, los cristales de austenita no tienen tiempo de transformarse en los componentes mencionados, y podemos visualizar en el microscopio en una sección pulida y atacada algunos cristales de austenita mezclados con agujas de martensita. (Apraiz, 2016).

Revenido, Es un tratamiento que se aplica a piezas de acero previamente endurecidas. Con este tratamiento, que consiste en calentar a una temperatura por debajo de la temperatura crítica Ac1, se reduce la dureza y resistencia del acero templado, eliminando las tensiones

generadas durante el revenido y mejorando la tenacidad, permitiendo que el acero también tenga la dureza o resistencia deseada. (Apraiz, 2016).

Tratamiento recocido, Es un proceso en el que los materiales pierden dureza y ganan flexibilidad, eliminando las tensiones creadas durante el temple (Becerra, Aguilar, Bernardino, y Santana, 2021).

En ese contexto la presente investigación de la empresa Aceros Chilca SAC, conocido con el nombre comercial MEPSA, ubicado en la avenida Plácido Jiménez No 1051, distrito de Lima, pertenece al sector Minería y metalurgia. La empresa cuenta con dos unidades de negocio: bolas forjadas y piezas de acero, los productos son similares solo se diferencian en el proceso productivo de fabricación. El producto con mayor rotación son las piezas de acero que representa el 70% de las ventas totales de la empresa. Como parte de su desarrollo estratégico la empresa cuenta con un mapa de procesos donde interactúan entre las gerencias y la investigación se enfoca en el área de gestión de producción,

Durante el proceso de fabricación la problemática se encuentra el proceso de tratamiento térmico (TT), este ítem los productos fabricados terminan siendo no liberados en cuanto a la dureza de las piezas fundidas, por el área de calidad. Esto productos pasan a ser reprocesadas donde se busca identificar las posibles soluciones con respecto a la calidad de dureza de las piezas.

La empresa no cuenta con una metodología o herramienta tipo de control estadísticos de procesos, más que la Metodología Kanban, durante el diagnóstico se pudo identificar diversos problemas, tales como: la sobre carga de los trabajos en toda la corporación, el incumplimiento de tiempo de espera (lead time) en las entregas al cliente, exceso de reproceso

de tratamiento térmico en las piezas fundidas, las Máquinas CNC (control numérico por computadora) y verticales con exceso de consumo de placas, alto consumo de combustible (Gas natural) de los hornos de tratamiento térmico, reclamo por incumpliendo del ciclo vida del producto.

Otro problema que también está relacionado al área de gestión de producto es la alta rotación de personal, pago de penalidad por incumplimiento y rescisión de contrato y orden de compra, los productos rechazados (fuera de dimensiones, fisuras y defectos de fundición) van directo al chatarreo de piezas de acero generando el elevado costo de producción y baja rentabilidad como consecuencia pérdida de fidelidad del cliente.

Las posibles causas podrían estar relacionadas con la falta de recursos humanos, es decir contar con personal calificado, falta de planificación y requerimiento de materiales, falta de un estándar específico de trabajo según el producto solicitado por el cliente, sobredimensionamiento de las piezas en el proceso de moldeo, la falta de supervisión continua genera errores en la composición química de las piezas, los hornos no cuentan con especificaciones técnicas al alcance de los operarios, la información para el tratamiento térmico en ocasiones es colgada en la red erradamente por la cual el operario trabaja con dicha información, entonces esto hace que no cumplamos con la dureza solicitada por el cliente, sumado a este problema es que la distancia o el recorrido es larga del horno a la cámara de soplado, esto dificulta y hace que no se respete el tiempo de soplado y por último el personal no cuenta con una capacitación según el puesto de trabajo, porque se pudo observar que los trabajadores no tienen un puesto de trabajo definido y todos hacen a la vez.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el control estadístico de procesos identificará problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera las gráficas de control individuales y rangos móviles identificarán la variabilidad y sus causas comunes o especiales en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?
- ¿De qué manera el índice de capacidad potencial de proceso identificará si es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?
- ¿De qué manera el índice de capacidad real identificará si el proceso es centrado con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Aplicar control estadístico de procesos para identificar problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Aplicar las gráficas de control individuales y rangos móviles para establecer la variabilidad y sus causas comunes o especiales en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.
- Analizar la capacidad potencial del proceso para conocer si es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021. - Analizar la capacidad real del proceso para establecer si es centrado con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

Justificación General

La presente investigación sirve para determinar y analizar problemas en el tratamiento térmico en la empresa Aceros Chilca SAC 2021 sede Lima a través del control estadístico de procesos, se logrará una visión del alcance de los problemas identificados y su impacto en el proceso, así mismo nuestra tesis sirve para demostrar que la aplicación de las teorías de control estadístico de procesos son una herramienta muy valiosa para el análisis de problemas que junto a herramientas de apoyo como Pareto y Diagrama de causa y efecto se puede llegar a identificar la causa raíz de un problema que será un precedente más para futuras investigaciones de este tipo, así mismo la empresa Aceros Chilca con este estudio le permitirá tomar decisiones de mejora en base a los hallazgos y conclusiones.

Justificación practica

La presente investigación se justifica como práctica porque presenta aspectos favorables para su fortalecimiento y mejora, a la vez también presenta aspectos desfavorables para su corrección y replanteamiento.

Los resultados nos permitirán proponer mejoras en el proceso de tratamiento térmico de las piezas de acero.

Justificación teórica

La presente investigación evidencia la relación entre las variables y su respectivo comportamiento, es decir la aplicación del control estadístico de procesos en tratamiento térmico corrobora y apoya las bases teóricas que se aplican en diversas industrias.

Justificación Metodológica.

Para la investigación no se ha utilizado muestra, se ha utilizado la población en tres lotes de producción dado a que estas piezas son producidas en base a una orden de producción y deben ser inspeccionadas al 100% después de su tratamiento térmico.

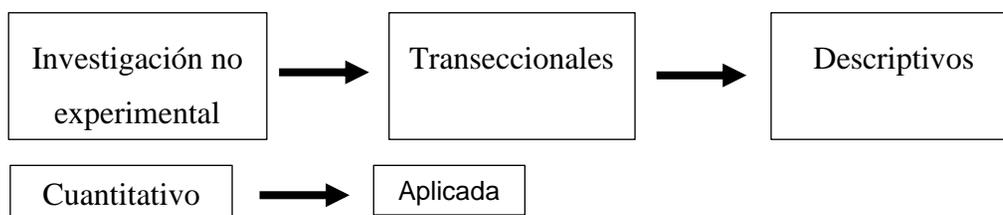
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Esta investigación es de **enfoque cuantitativo** de **tipo aplicada** porque vamos a identificar la problemática presentada en la empresa Aceros Chilca SAC, para resolver se plantea una propuesta de control estadístico de procesos para mejorar el tratamiento térmico de las piezas de acero. Según (Ríos, 2017) afirma que una investigación aplicada “es concreta y busca la aplicación de los conocimientos en resolver algún problema determinado. Se basa en la investigación básica”, (pág. 80).

La investigación es de **tipo descriptivo**, porque se describe la problemática encontrada en la empresa en estudio, mediante un proceso continuo utilizando la herramienta del control estadístico de procesos se determina si el tratamiento térmico de las piezas de acero se encuentra en condiciones óptimas. Según (Ríos, 2017) afirma que el nivel de investigación “busca encontrar las características, comportamiento y propiedades del objeto de estudio, ya sea en el presente o en el futuro, en este último caso se denomina de pronóstico”, (pág. 81).

El **diseño de la investigación es no experimental tipo transversal** porque se levantará información relacionado con datos históricos del año 2021, según el objetivo planteado, al ser no experimental no se manipulará datos de las variables solo se observará la problemática presentada en la empresa. Según (Hernández y Mendoza, 2018) sostiene que en la investigación “no experimental no genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza”.

Figura 1. Enfoque y diseño de la investigación



Población. Para nuestro estudio hemos utilizado como población a 03 lotes de producción de la empresa Aceros Chilca SAC y según la hoja de ruta el área de control de calidad debe tomar dureza al 100 % de la producción, para el cliente Cerro Verde se han considerado dos lotes: uno de 120 piezas con rangos de dureza de 622 a 673 BHN y el segundo con 57 piezas y rango de durezas de 600 a 650 BHN y para el cliente Hudbay se ha tomado el lote de 112 piezas con rango de dureza de 321 a 375, hemos considerado a estos dos clientes porque según nuestro diagrama Pareto son los que representan con alto porcentaje en piezas no liberadas por no cumplir rangos solicitados por nuestro cliente: 622-673 con 37%, el 600-650 con 23% y el 321-275 con 18% que representan el 78%, ver la tabla 04.

Tabla 3. Población (03 Ordenes de Producción)

CLIENTES	TIPO DE ACERO	LOTE	CANT. DE PIEZAS	RANGOS DE DUREZA
Cerro Verde	AM-2E	1	120	622 - 673 BHN
Cerro Verde	AM-2E	2	57	600 - 650 BHN
Hudbay	AC-4H	3	112	312 - 375 BHN
			289	

Por lo tanto, mi población pudo haber sido infinita porque es una producción continua, pero decidió hacer corte transversal (una sola medición) en un lapso de 45 días y en ese momento se estaban atendiendo 03 pedidos, las cuales están representadas por un total de 289 piezas, pero de estas no se tomó muestra porque fue accesible toda la población.

Técnicas de instrumentación y recolección, la técnica que se aplicó en este estudio fue la de **observación documental** a través de la compilación de datos históricos que se generan en los ciclos productivos del subproceso de tratamiento térmico de la empresa Aceros Chilca SAC para ello se valió de instrumentos tales como la Matriz (tabla de registro de datos de los indicadores) de durezas de las piezas fundidas, los detalles se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Método de la recolección de datos según la técnica e instrumento.

Objetivos Específicos	Indicador	Técnica	Instrumento	Parámetro establecido
Aplicar las gráficas de control individuales y rangos móviles para establecer la variabilidad y sus causas comunes o especiales en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.	Variabilidad del proceso	Observación documental	Formato de registro durezas	Estándares establecidos por el cliente.
Analizar la capacidad potencial del proceso para conocer si es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.	Capacidad potencial de proceso	Observación documental	Formato de registro durezas	Estándares establecidos por el cliente.
Analizar la capacidad real del proceso para establecer si es centrado con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.	Capacidad real de proceso	Observación documental	Formato de registro durezas	Estándares establecidos por el cliente.

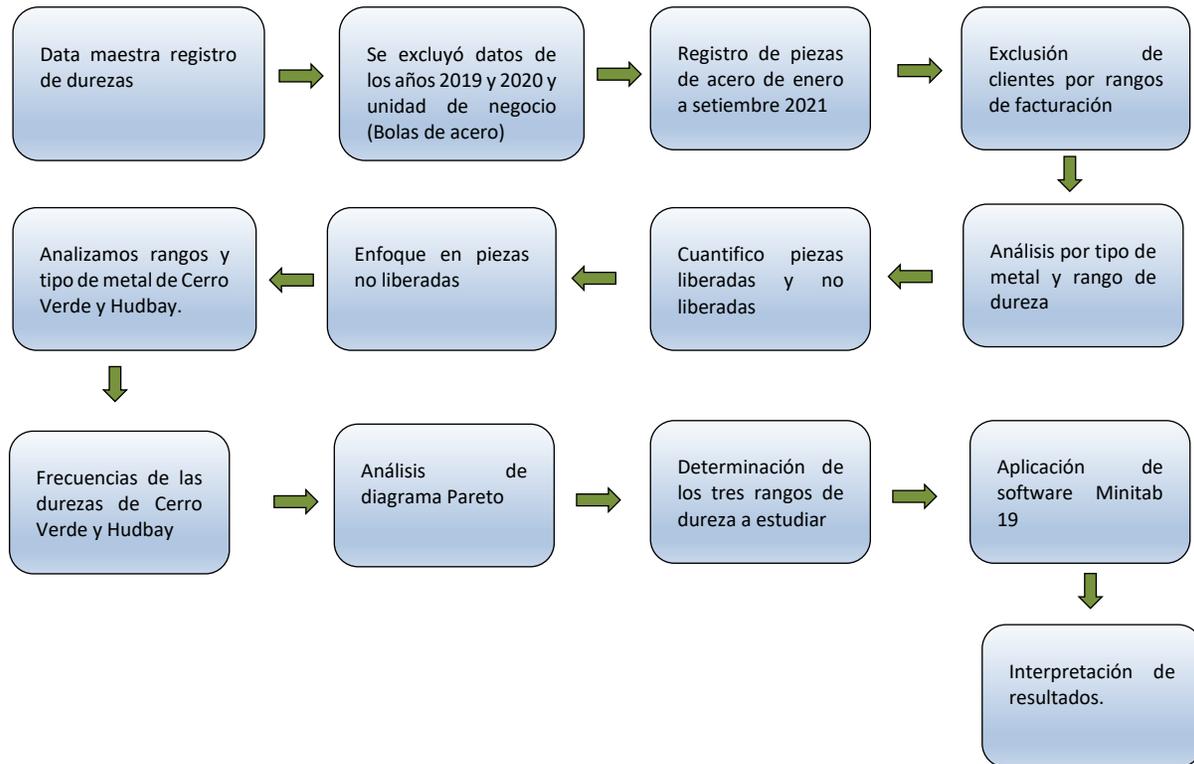
Análisis de Datos

La información fue recolectada mediante técnicas e instrumentos de medición, estos datos fueron procesados en base a la información histórica de los meses de enero a setiembre del 2021 que cuenta el área de control de calidad, el cual fue ordenado según el rango que requiere el instrumento de recolección de datos, con la información obtenida se procedió al cálculo matemático, según las variables planteadas.

Procedimiento

Este proceso comenzó con la revisión de la data maestra proporcionada por la empresa Aceros Chilca SAC llamada registro de durezas 2021, se excluyó los datos de los años 2019 y 2020, quedando solo del 2021 de enero hasta setiembre, en paralelo se hizo esta misma exclusión por años y unidad de negocio (bolas de acero) con la data de facturación por cliente, quedando solo las piezas de acero fundidas que es objeto parte de nuestro estudio, en el registro de durezas se excluyó los demás clientes quedando solo Hudbay y Cerro Verde, con ellos se analizó el tipo metal, su rango de dureza y se cuantificó en liberadas y no liberadas, siguiendo el tamizado de los datos nos enfocamos en las piezas no liberadas de estos dos clientes con estas nuevamente se analizó los rangos, el tipo de metal, con sus respectivas frecuencias, se visualizó con la gráfica de Pareto los tres principales rangos de dureza en lo cual se centró el análisis a través del software de Minitab. Así mismo, se creó un diagrama de causa y efecto con el programa de Microsoft Excel buscando la causa raíz del problema de las alteraciones de la dureza, también se visualizó con una tabla y gráfico el costo de producción por tonelada de las piezas no liberadas por tipos de metal de los clientes seleccionados, ver en la figura 2. Ver anexo I.

Figura 2. Procedimiento de recolección de datos.



Con respecto a los **aspectos éticos** se cumple, para la estructura de la tesis se utiliza el formato establecido de la Universidad Privada del Norte, para el tratamiento de datos se cuenta con el permiso respectivo de la empresa. La información es recopilada de fuentes primarios y secundarios es citada según el formato APA, con respecto la validez del instrumento se utiliza el estándar establecido por el cliente. Durante el desarrollo de la información se respeta la autonomía de los operarios y los clientes quienes se encuentren involucrados en el proceso. La información desarrollada en la tesis y los resultados obtenidos se comparte a la jefatura del área de sistema de gestión a fin de que tomen acciones respectivas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para analizar los resultados de esta investigación se utilizó los datos históricos del registro de durezas de piezas de acero fundidas de la empresa Aceros Chilca SAC del año 2021, se hizo un análisis de acuerdo con la participación por cliente con el nivel de facturación en dólares americanos sobre las órdenes colocadas en piezas de acero, siendo los clientes más representativos Hudbay y Cerro Verde, como se detalla en el Anexo P.

Siendo el cliente Cerro Verde el más representativo en cuanto a número de piezas no liberadas como se muestra en el cuadro siguiente:

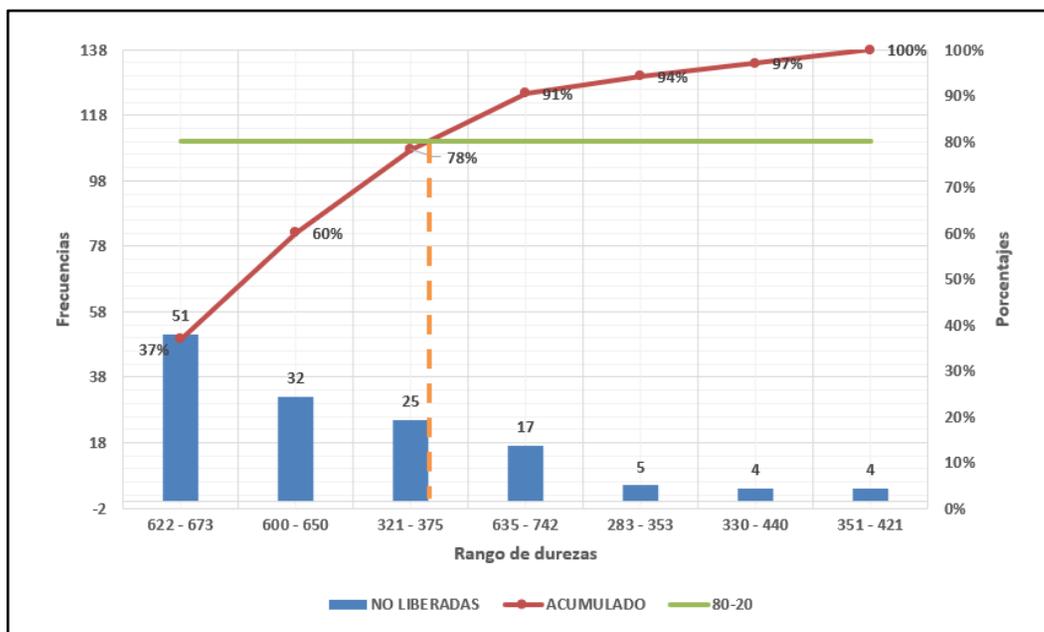
Tabla 5. Total, de Piezas no liberadas por rango de dureza de enero a setiembre 2021

RANGO DE DUREZA BHN	DE CLIENTE	METAL	NO LIBERADAS	FRECUENCIA ACUMULADA	PORCENTAJE	ACUMULADO
622 - 673	Cerro Verde	AM-2E	51	51	37%	37%
600 - 650	Cerro Verde	AM-2E	32	83	23%	60%
321 - 375	Hudbay	AC-4H	25	108	18%	78%
635 - 742	Hudbay	AM-2	17	125	12%	91%
283 - 353	Hudbay	AC-2E	5	130	4%	94%
330 - 440	Cerro Verde	AC-4E	4	134	3%	97%
351 - 421	Hudbay	AC-4	4	138	3%	100%
TOTALES			138		1.0	

En la tabla 4, se puede observar la mayor incidencia de piezas no liberadas se da en la producción de órdenes del cliente Cerro Verde en el metal AM-2E con 83 unidades, pero con

dos requerimientos de dureza, en tanto las piezas de Hudbay no liberadas con mayor representación son 25 unidades en el metal AC-4H con su propio requerimiento de dureza.

Figura 3. Análisis Pareto de las piezas no liberadas por rango de dureza



En la figura 3, se puede observar el diagrama de Pareto donde se identifica los principales rangos de dureza como el 622-673 BHN con 37%, el 600-650 BHN con 23% y el 321-275 BHN con 18% que representan el 78% de las piezas no liberadas en el proceso de Tratamiento Térmico durante el periodo de enero a setiembre de 2021 por estar fuera del requerimiento de durezas de las piezas para los clientes Cerro Verde y Hudbay respectivamente.

El objetivo general de esta tesis es la de aplicar control estadístico de procesos para identificar problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros

Chilca SAC, Lima 2021, del cual se desprende los siguientes objetivos específicos que se abordarán cada uno con su respectivo análisis de hallazgos.

- **Objetivo específico 1**

Aplicar las gráficas de control individuales y rangos móviles para conocer la variabilidad y sus causas (comunes o especiales) en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

Se decidió utilizar la carta de control individual y rangos móviles porque el proceso de tratamiento térmico recae principalmente en la medición de la dureza, y esta variable se obtiene luego de haber terminado el proceso en promedio 3 días, tal como indica la teoría que son para procesos lentos no masivos que demandan muchas horas de quemado. Y rangos móviles se utilizó para determinar la amplitud de cada dos subgrupos y es también sirve de complemento de las gráficas individuales. Los supuestos que se cumplen para encontrar los límites son: la media o línea de tendencia central y 03 sigmas hacia arriba y abajo con respecto a la media.

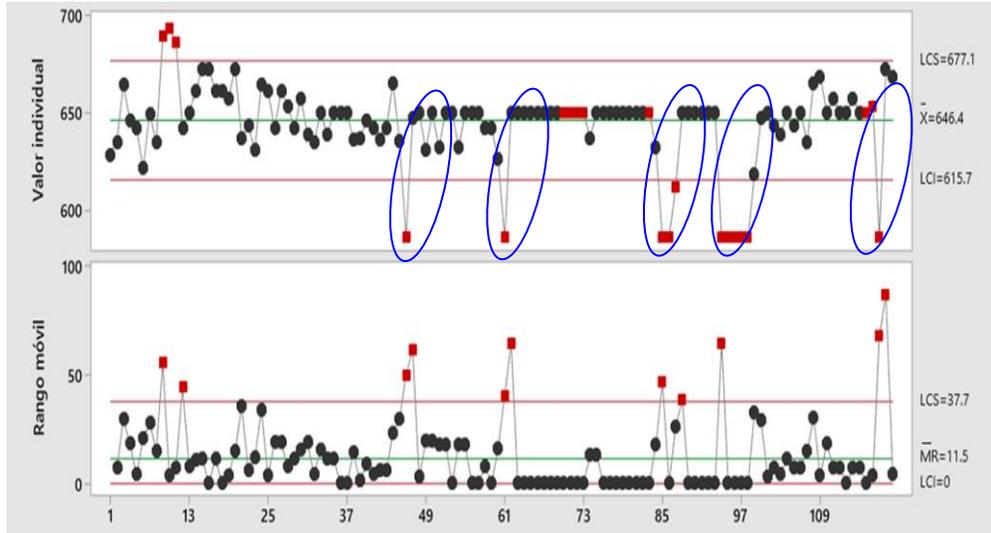
Se comenzó el análisis con el Cliente Cerro Verde en vista que presenta el mayor número de piezas no liberadas por control de calidad en tratamiento térmico, se estudió al tipo de metal AM-2E (familia de fierros alto cromo) con los dos rangos de dureza tales como 622-673 BHN (Media: 648 BHN) y 600-650 BHN (Media: 625 BHN) respectivamente, cabe recalcar que el análisis se hizo en un lote de 120 y 56 piezas respectivamente.

El anexo J se representa el registro de las durezas del lote 120 piezas de acero, esta se resume en la siguiente tabla de frecuencias de cada medición de durezas, se presenta los hallazgos:

Tabla 6. Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 622-673 BHN de un lote de 120 piezas fundidas.

DUREZAS_R_622-673 BHN	FRECUENCIAS
694	1
691	1
687	1
673	4
669	2
666	2
665	2
662	5
658	2
658	2
654	2
651	47
650	1
648	2
647	2
644	3
643	8
639	3
638	3
637	2
636	1
636	2
635	2
633	3
632	1
631	1
629	1
627	1
622	1
619	1
612	1
586	10
TOTALES	120

Figura 4. Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 622-673 BHN del metal AM-2E



LCS: Límite de control superior

LCI: Límite de control inferior

\bar{X} : Media

—

De acuerdo con la tabla 6 y la figura 5 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 622-673 BHN del cliente Cerro verde, en la carta de control individual presenta 13 puntos fuera de los límites de control lo que señala de que el proceso es inestable, con mayor incidencia en piezas blandas (baja dureza) que están por debajo del límite control inferior, presenta un patrón cíclico en más de tres grupos de mediciones que se atribuye a causas comunes (Tiempos de soplado de acuerdo a la hoja de ruta) que son parte del proceso de TT (tratamiento térmico), así mismo el gráfico de rangos móviles presenta mucha variabilidad lo que indica que el proceso está fuera de control.

Para nuestro análisis se llegó a usar gráficas de control porque se midió la estabilidad del proceso y sus causas, y que de acuerdo con la tabla “Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 622-673 BHN del metal AM-2E” (Figura 5) indica que el proceso esta fuera del control estadístico. Enseguida se calcula el índice de estabilidad del proceso.

$$\text{Índice Estabilidad} = \frac{N \text{ Puntos Especiales}}{N \text{ Total Puntos}} \times 100$$

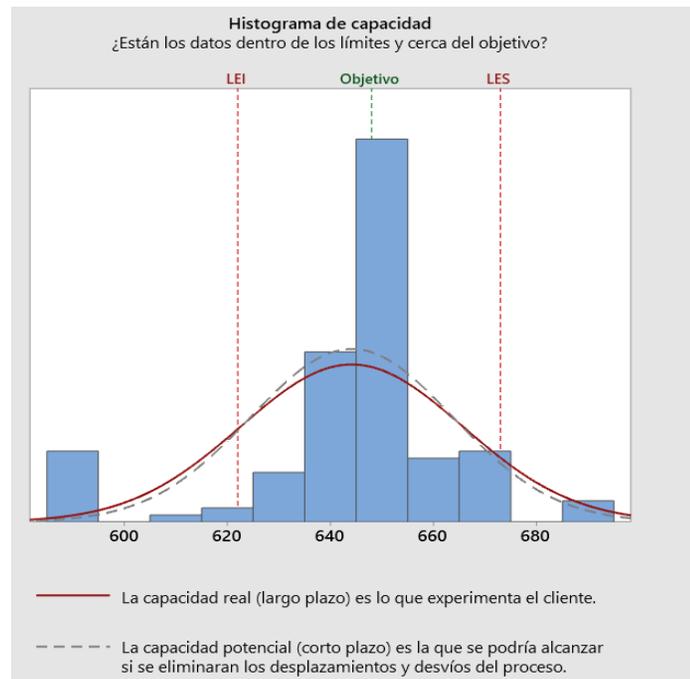
$$St = \frac{13}{120} \times 100 = 10.8\%$$

El resultado de 10.8% manifiesta que el proceso es inestable debido a las causas especiales.

- **Objetivo específico 2**

Aplicar el índice de capacidad potencial para conocer si el proceso es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

Figura 5. Capacidad potencial del proceso con rango de dureza 622-673 BHN del metal AM-2E



LES: Límite de especificación superior

LEI: Límite de especificación inferior

De acuerdo con la tabla 6 y la figura 6 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 622-673 BHN del cliente Cerro verde, se calcula el índice Cp de la siguiente manera.

$$Cp = \frac{ES - EI}{6DE}$$

$$Cp = \frac{673 - 622}{6 * 19.614}$$

$$Cp = 0.43$$

El resultado del índice de capacidad potencial de proceso es de 0.43 que de acuerdo con la tabla 5 mencionado en el capítulo I, pertenece a la categoría 4 que es un proceso no adecuado para el trabajo que necesita modificaciones muy serias, con un 20% fuera de las especificaciones del cliente, representando 200 057 unidades de piezas de partes por millón (PPM) no liberadas, ver anexo H de PPM de productos defectuosos.

- **Objetivo específico 3**

Analizar la capacidad real del proceso para establecer si es capaz con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.

De acuerdo con la tabla 6 y la figura 6 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 622-673 BHN del cliente Cerro verde, se calcula el índice Cpk de la siguiente manera.

$$Cpk = \text{Min de } (M - EI / 3DE; ES - M / 3DE)$$

$$Cpk = \text{Min de } (648 - 622 / 3 * 19.614; 673 - 648 / 3 * 19.614)$$

$$Cpk = \text{Min} = 0.38$$

El resultado del índice de capacidad real de proceso es de 0.38 que, de acuerdo con la interpretación, la media del proceso (644 BHN) está alejada del Target (648 BHN) del requerimiento del cliente, con un 11% fuera de la especificación inferior del cliente, representando 115 069 unidades de piezas de partes por millón (PPM) no liberadas, ver anexo G de PPM de productos defectuosos.

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y HALLAZGOS.

En este apartado se mencionan los resultados y hallazgos de acuerdo al análisis de las tres dimensiones de control estadístico de procesos en tratamiento térmico en la empresa Aceros Chilca SAC que termina identificando los problemas y sus posibles causas que se describen a continuación.

Para la dimensión de gráficas de control el proceso de tratamiento térmico en la empresa Aceros Chilca SAC, que de acuerdo con las mediciones y análisis de los tres rangos de dureza y lotes de producción respectivamente, se concluyeron que, el proceso es inestable con respecto al requerimiento de dureza que exige el cliente, es decir no se están liberando el total de las piezas producidas por la alta y baja dureza de las piezas no conformes en tratamiento térmico, así mismo se identificó patrones en el comportamiento de las mediciones como ciclos y mezclas que se atribuyen a causas comunes.

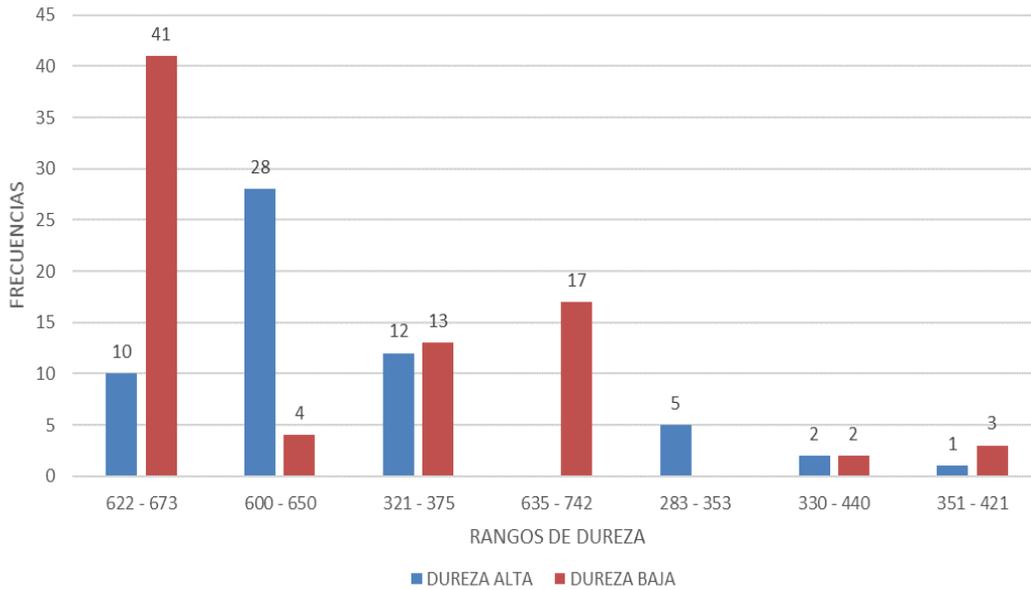
Para la dimensión capacidad potencial del proceso tanto para cliente Cerro Verde y Hudbay el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones del cliente con 20% y 7% de piezas no liberadas respectivamente, así mismo para la dimensión de capacidad real se identificó que el proceso no cumple con el requerimiento de dureza del cliente, tanto para Cerro Verde y Hudbay los resultados arrojan un 11% y 3% respectivamente que se aleja del Target de requerimiento de dureza, en ambos casos el problema de tratamiento térmico se debe a la alta y baja dureza que presentan las piezas no liberadas por control de calidad, siendo con mayor proporción la baja dureza, que a continuación se describen en la tabla 07 y figura 07.

Tabla 7. *Frecuencias de dureza alta y baja, por rango de dureza y cliente.*

CLIENTE	RANGO DE DUREZA BHN	DUREZA ALTA	DUREZA BAJA	TOTAL
Cerro Verde	622 - 673	10	41	51
Cerro Verde	600 - 650	28	4	32
Hudbay	321 - 375	12	13	25
Hudbay	635 - 742		17	17
Hudbay	283 - 353	5		5
Cerro Verde	330 - 440	2	2	4
Hudbay	351 - 421	1	3	4
TOTALES		58	80	138

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

Figura 6. Frecuencias de dureza alta y baja, por rango de dureza y cliente.



Según la tabla 7 y la figura 7 podemos observar que las piezas salían de tratamiento térmico con alteraciones en la dureza y estas no son liberadas por el área de control de calidad, ya que estas piezas no cumplen con las especificaciones de requerimiento del cliente, estas alteraciones son clasificadas como alta y baja dureza.

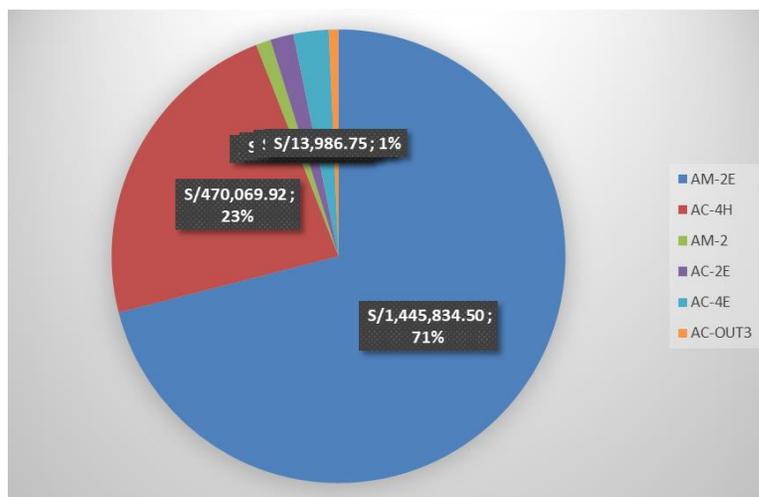
A continuación, se dará los resultados del impacto económico que representa las piezas no liberadas por tratamiento térmico del macroproceso de fundición de la empresa Aceros Chilca SAC.

Tabla 8. Costo de producción de piezas no liberadas por tipo de metal y peso.

METAL	PIEZAS NO LIBERADAS	PESO EN KG	PESO EN TN	COSTO 1 TN US\$	COSTO TOTAL EN TN US\$	COSTO EN S/
AM-2E	83	172864	173	\$ 2,091.00	\$ 361,458.62	S/ 1,445,834.50
AC-4H	28	88961	89	\$ 1,321.00	\$ 117,517.48	S/ 470,069.92
AM-2	17	2559	3	\$ 2,091.00	\$ 5,350.87	S/ 21,403.48
AC-2E	5	6425	6	\$ 1,321.00	\$ 8,487.43	S/ 33,949.70
AC-4E	4	9641	10	\$ 1,321.00	\$ 12,735.76	S/ 50,943.04
AC-OUT3	1	2647	3	\$ 1,321.00	\$ 3,496.69	S/ 13,986.75
TOTALES	138	283097				S/ 2,036,187.39

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

Figura 7. Costo de producción de piezas no liberadas por tipo de metal y peso.

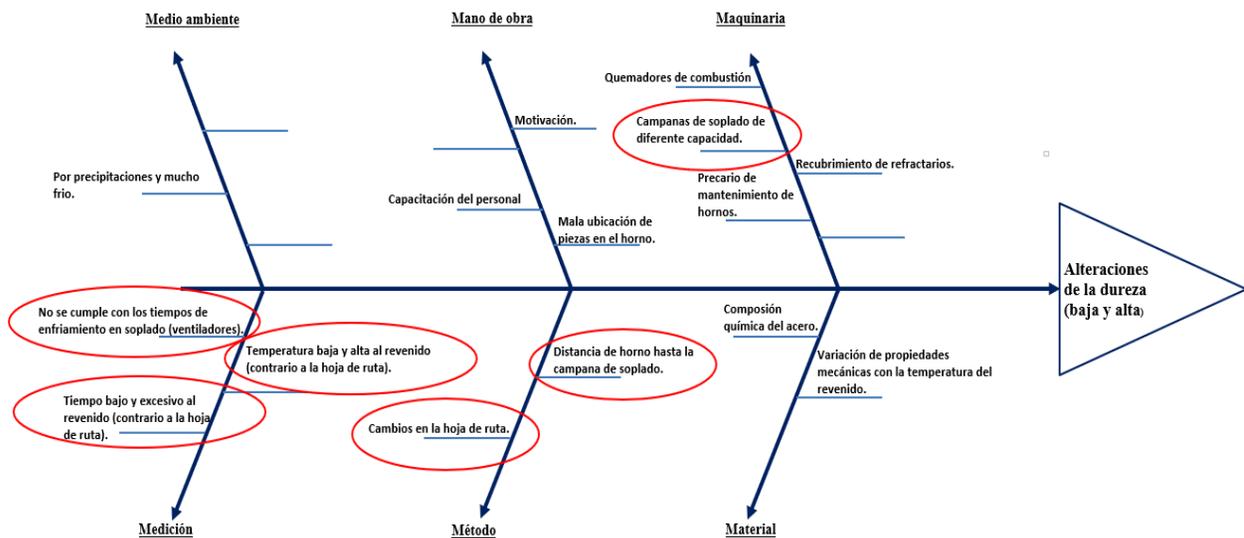


Según la tabla 8 y la figura 8, de las 138 piezas no liberadas la mayor incidencia en tonelaje de piezas recae en el metal AM-2E (hierro blanco) del cliente Cerro Verde, lo cual tiene el mayor costo de producción con US\$ 2,091.00 por tonelada, superando a Hubyay que

tiene US\$ 1,321.00 por tonelada, juntos representan el 71% del total del costo estimado en piezas no liberadas, cabe precisar que en este análisis el total en soles S/ 2,036,187.39, es el costo de producción que tienen las 138 piezas no liberadas por alteración del tratamiento térmico, que pasaran por un reproceso de endurecido y revenido hasta la dureza requerida según la hoja de ruta para luego ser liberada en muchos casos y en algunos son destinados al chatarreo.

A continuación, se presenta el estudio de las causas raíz del problema a través del diagrama de causa y efecto conocido también como espina de pescado e Ishikawa basado en las 6 M del proceso de tratamiento térmico.

Figura 8. Diagrama Ishikawa de las alteraciones de la dureza



En la figura 9, se puede observar el análisis donde se determina que el problema de las alteraciones de la dureza de las piezas fundidas, que sus causas más relevantes se localizan en medición, método y maquinaria, tal como se encuentran marcadas en el

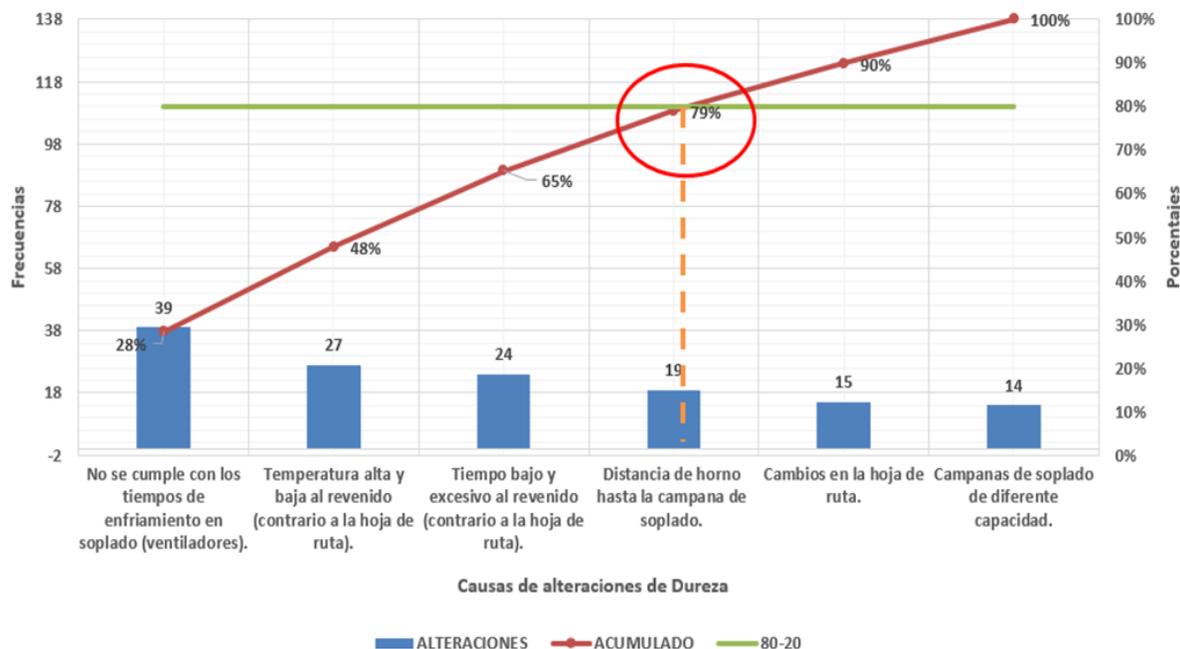
diagrama, se explica con una tabla de distribución de frecuencias y un análisis Pareto que se muestran a continuación.

Tabla 9. Frecuencias de las 6 M.

CAUSAS DE ALTERACIONES DE LA DUREZA	6M	DUREZA ALTA	DUREZA BAJA	ALTERACIONES	FRECUENCIA ACUMULADA	PORCENTAJE	ACUMULADO
No se cumple con los tiempos de enfriamiento en soplado (ventiladores).	Medición	17	22	39	9	28%	28%
Temperatura alta y baja al revenido (contrario a la hoja de ruta).	Medición	13	14	27	6	20%	48%
Tiempo bajo y excesivo al revenido (contrario a la hoja de ruta).	Medición	8	16	24	0	17%	65%
Distancia de horno hasta la campana de soplado.	Método	9	10	19	09	14%	79%
Cambios en la hoja de ruta.	Método	5	10	15	24	11%	90%
Campanas de soplado de diferente capacidad.	Maquinaria	6	8	14	38	10%	100%
TOTALES		58	80	138		100%	

Fuente Elaboración y Formulación: Propia

Figura 9. Análisis Pareto de las causas de las alteraciones de dureza.



De acuerdo con la tabla 9 y la figura 10 el problema de las alteraciones de la dureza tanto alta y baja se dan en la medición y en método, ya que son las variables que más afectan al proceso de tratamiento térmico de las piezas, las tres primeras causas son: no se cumple con los tiempos de enfriamiento en soplado, temperatura alta y baja al revenido, tiempo bajo y excesivo al revenido en las horas programadas, cada uno con una participación de 28%, 20% y 17% respectivamente, así mismo existe un 14% de incidencias con respecto a la distancia del horno hasta la campana de soplado, juntas representan el 79% de las causas según análisis Pareto, en las que se debe de concentrar los esfuerzos en las mejoras del proceso para minimizar las no conformidades por alteraciones de la dureza, lo que se concluye que la mayor causa es un problema de medición, es decir no se están controlando bien las temperaturas y tiempos en el tratamiento de revenido así mismo hay un serio problema con las campanas de soplado que se encuentran alejadas del horno de templado.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN

Con los hallazgos encontrados para gráficas de control el proceso es inestable con 10% que es una señal de presencia de causas especiales, en tanto los índices de CP y CPK son de 0.43 y 0.38 respectivamente que representan la disminución de la capacidad de proceso para producir dentro las especificaciones de dureza de los clientes, aplicar Control Estadístico de Procesos nos permitió identificar problemas en el proceso de tratamiento térmico de la empresa Aceros Chilca SAC, determinándose que la mayor causa de las alteraciones de la dureza de las piezas de acero fundidas es por problemas de medición de temperaturas y tiempos en el tratamiento de revenido, teniendo como efecto la baja y alta dureza, es muy relevante conocer esta causa mayor, para la toma de decisiones sobre medidas correctivas y preventivas a fin de minimizar los reprocesos que a su vez impactan en los costos.

El resultado guarda relación con lo que sostiene Gómez D.(2018), Ferrel(2016) puesto a que, en sus estudios aplicaron C.E.P para conocer los problemas y sus causas, para el primero en tratamiento térmico en una empresa metalúrgica de México con foco en las dimensiones, como carta de control con lo cual determinó el proceso tenía puntos fuera de los límites, para la dimensión índice CP y CPK son mayores al mínimo permisible de 1.33 pese a tener límites de control fuera de las toleradas, el resultado indicó que el proceso era adecuado y centrado de capacidad, con el segundo autor presenta inestabilidad con un CP de 0.34 y un CPK de 0.20 indicando que el límite se encontraba dentro de los parámetros establecidos de Peso con 980gr ± 5 gr.

Con el autor Guerrero (2019) la estabilidad de procesos representó en 26.29 % concluyéndose que el proceso es inestable, también por causas especiales y con respecto a la capacidad de proceso tuvo como resultado el índice de C_p es 0.44, el cual es menor a 1.

En tanto Peña (2019) concluye que el tratamiento térmico se debe basar en la transformación del horno para minimizar los costos altos de operación que difiere de nuestro objeto de estudio ya que nuestro problema se centra en la medición. Bocardo (2019) también aplicó C.E.P para conocer las causas de la variabilidad de un proceso de fórmula láctea, valiéndose de herramientas previas en el diagnóstico como cartas de control: medias y rangos, y análisis de capacidad de proceso, determinando que las causas de la variabilidad son por causas comunes atribuibles a una máquina de embolsado. En cambio, el estudio de estos autores Duffus, Céspedes, García, y Cruz (2019), hay diferencias ya que el estudio de la fundición del acero lo canaliza por el ensayo Jominy en todo el proceso y con el autor Meza (2018) hay semejanza con la variable de tratamiento térmico, pero difiere del método utilizado ya que este autor aplicó ingeniería de métodos. Con el estudio de Tipian (2017) guarda relación cercana ya que aplicó las 7 herramientas de la calidad, relacionándose con la dimensión cartas de control ya que identificó que el proceso tenía mucha variabilidad con respecto a las piezas defectuosas.

Con el autor Jamanca (2017), coincide con el uso de la dimensión cartas de control ya que los resultados se presentaron del antes y el después de la mejora mediante esta herramienta.

Limitaciones

La limitación más relevante fue que el índice de capacidad real del proceso arrojó 115 069 unidades de piezas defectuosas lo cual no se logró cuantificar los costos de tratamiento térmico puesto que la empresa se reserva esa información por políticas internas.

También se tuvo limitación en el proceso de registro de datos, ya que el ejercicio es netamente manual y se manifestaba a tener errores de registro, otra limitación fue que el registro de datos por parte del practicante era muy lento, por lo tanto, no teníamos la información a tiempo. Así mismo para el desarrollo de esta tesis se tenía limitantes en la variable de tratamiento térmico, ya que los estudios se centran más en las mejoras de productividad, pero aplicando diferentes métodos como ensayos en las durezas e ingeniería de métodos, así mismo hay una fuerte barrera para el acceso de información (Data de tratamiento térmico).

En la implicancia práctica de esta investigación permitirá con las conclusiones la toma de decisiones de la puesta en marcha de las posibles soluciones de los altos números de piezas defectuosas (fuera de rango de dureza) en procesos lentos, semi masivos y por lotes, se deben controlar y medir la especificación del cliente al 100 % y sin muestreo, ya que los tamaños de lotes son pequeños porque estaban de acuerdo con la orden de producción colocada por el cliente.

Los resultados nos dan un informe de que el proceso no es adecuado y que necesita modificaciones, la aplicación de C.E.P va a contribuir en futuros estudios de otras empresas similares al rubro en el proceso de tratamiento térmico u otros procesos. Las herramientas

auxiliares como el Pareto e Ishikawa permitieron conocer los problemas que implica el uso de la teoría con la realidad de las ocurrencias en los flujos de proceso de tratamiento térmico.

4.2. CONCLUSIONES

- La aplicación de control estadístico de procesos - C.E.P para tratamiento térmico en la empresa Acero Chilca SAC en año 2021 en la sede Lima, permitió analizar e identificar problemas de dureza, alta y baja de las piezas fundidas y sus principales causas.
- Las cartas de control individuales y de rangos móviles identificaron que el proceso es inestable no es adecuado y que está fuera de control, los ítems no están siendo liberadas por alteraciones de la dureza, siendo las principales causas comunes: no se cumple con los tiempos de enfriamiento en soplado, temperatura alta y baja al revenido, tiempo bajo y excesivo al revenido en las horas programadas.
- El índice de capacidad potencial del proceso – CP permitió identificar que el proceso de tratamiento térmico no es capaz de tolerar las especificaciones de dureza de los clientes con un 20% de piezas no liberadas representado 200 057 unidades de piezas de partes por millón (PPM).
- Para el índice de capacidad real de proceso – CPK, se identificaron que el proceso no es centrado, con tendencia hacia el límite de especificación inferior, es decir no se cumple con las especificaciones, por lo cual el proceso necesita modificaciones muy serias para controlar las no conformidades y frenar el impacto económico en los costos que estas incurren por reprocesos de tratamiento térmico hasta la liberación de las piezas, siendo un 11% fuera de la especificación del cliente, representando 115 069 unidades de piezas de partes por millón (PPM).

4.3. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda reforzar los controles en el tratamiento térmico de endurecido, como control de temperaturas y tiempos, ya que este tratamiento es el que refina la dureza y la resistencia según requerimiento de cada cliente, así mismo se recomienda hacer cumplir los tiempos de enfriamiento de soplado de las piezas de acero fundidas.
- Las campañas de soplado se encuentran alejadas del horno de endurecido, en el traslado de las piezas hasta los ventiladores se pierde valiosos minutos a temperatura ambiente, se recomienda trasladar las campanas cerca del horno.
- Mejorar el flujo de la comunicación en cuanto a cambios en la hoja de ruta de Tratamiento Térmico de las piezas, esta actualización debe de ser en tiempo real.
- Se recomienda uniformizar la capacidad de las campanas de soplado, estas son de diferentes tamaños.

REFERENCIAS

- ADS Quality. (2018). *Control estadístico de los procesos (SPC)*. España: Artegraf S.A.
- Aleas, M. F. (2017). *Influencia del tratamiento térmico criogénico en las propiedades mecánicas de resistencia al desgaste y microdureza de un acero para herramientas thyrodur 2510*. Bogotá, Colombia, [Proyecto de grado, Universidad Libre de Colombia]: <https://hdl.handle.net/10901/10377>.
- Aliaga Garcia, W. R. (2020). San Agustín de Cajas. *Los defectos en los Tratamientos Térmicos*. [Manual]:
https://issuu.com/walteraliagagarcia/docs/manual_los_defectos_del_ttm.docx.
- Apraiz, J. (2016). *Tratamientos Térmicos de los Aceros*. España: Gráficas Blonde S.L.
- Becerra, M., Aguilar, V., Bernardino, J., & Santana, F. (2021). TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río. *Tratamientos térmicos*. Vol. 8, No. 15 (2021) 40-44: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/issue/archive>.
- Bocado, A. (2019). *Propuesta de un control estadístico de procesos para disminuir la variabilidad de la fórmula láctea Nido 1*. Mexico, [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]: <https://cdigital.uv.mx/handle/1944/49339>.
- Cuatrecasas, L. (2017). *Gestión Integral de la Calidad*. Barcelona, España: Profit Editorial.
- Díaz del Castillo, F., & Reyes, A. (2012). *Aceros, Estructuras y Tratamientos Térmicos*. México: Universidad Nacional Autónoma.

Duffus, A., Céspedes, I. d., García, J., & Cruz, A. (01 de Junio de 2019). *Mejora del control de la calidad del proceso de tratamiento térmico de un acero para blindaje*. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, [Artículo, Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central]: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612019000200063&script=sci_arttext&tlng=en.

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). *Administración y control de la calidad*. Mexico: Latinoamérica.

Ferrel, H. (2016). *Aplicación de un control estadístico de procesos en la línea de embolsado de leche pasteurizada*. Lima, Perú, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1991>.

Forero, Á. (2010). *Metalurgia práctica*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Gómez, D. (24 de Abril de 2018). *Implementación e interpretación de SPC para diagnóstico del proceso de tratamiento térmico temple y revenido*. H. Puebla de Zaragoza, México, [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/7842>.

Guerrero, B. E. (2019). *Control estadístico de procesos y la productividad en la empresa talabartería y artesanías valencia, Huacho*. Huacho, Lima, [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]:

[http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3256/3256%20GUERRER
O%20VALENCIA%2C%20BRANDO%20ENRIQUE%20GUILLERMO.pdf](http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3256/3256%20GUERRER%20VALENCIA%2C%20BRANDO%20ENRIQUE%20GUILLERMO.pdf).

Gutiérrez, H. (2010). *Calidad total y productividad*. México: Mc Graw-Hill Interamericana Editores.

Gutiérrez, H. (2017). *Calida y productividad*. Cuarta Edición, México: Mc Graw Hill Education.

Izar, J., & Gonzales, J. (2004). *Las 7 herramientas basicas de la calidad*. México: Editorial Potosina universitaria.

Jamanca, L. d. (2017). *Control estadístico para mejorar la eficiencia del riego en el proceso de lixiviación en Minera Barrick Misquichilca S.A. Huaraz - 2017*. Lima, Perú, [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13461>.

Meza, D. E. (2018). *Implementación de la ingeniería de métodos para mejorar la productividad en el área de trataminto térmico en la empresa Aceros del Perú SAC, Lima 2017*. Lima, Perú, [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23289/Meza_EDE.pdf?s
equence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23289/Meza_EDE.pdf?ssequence=1&isAllowed=y).

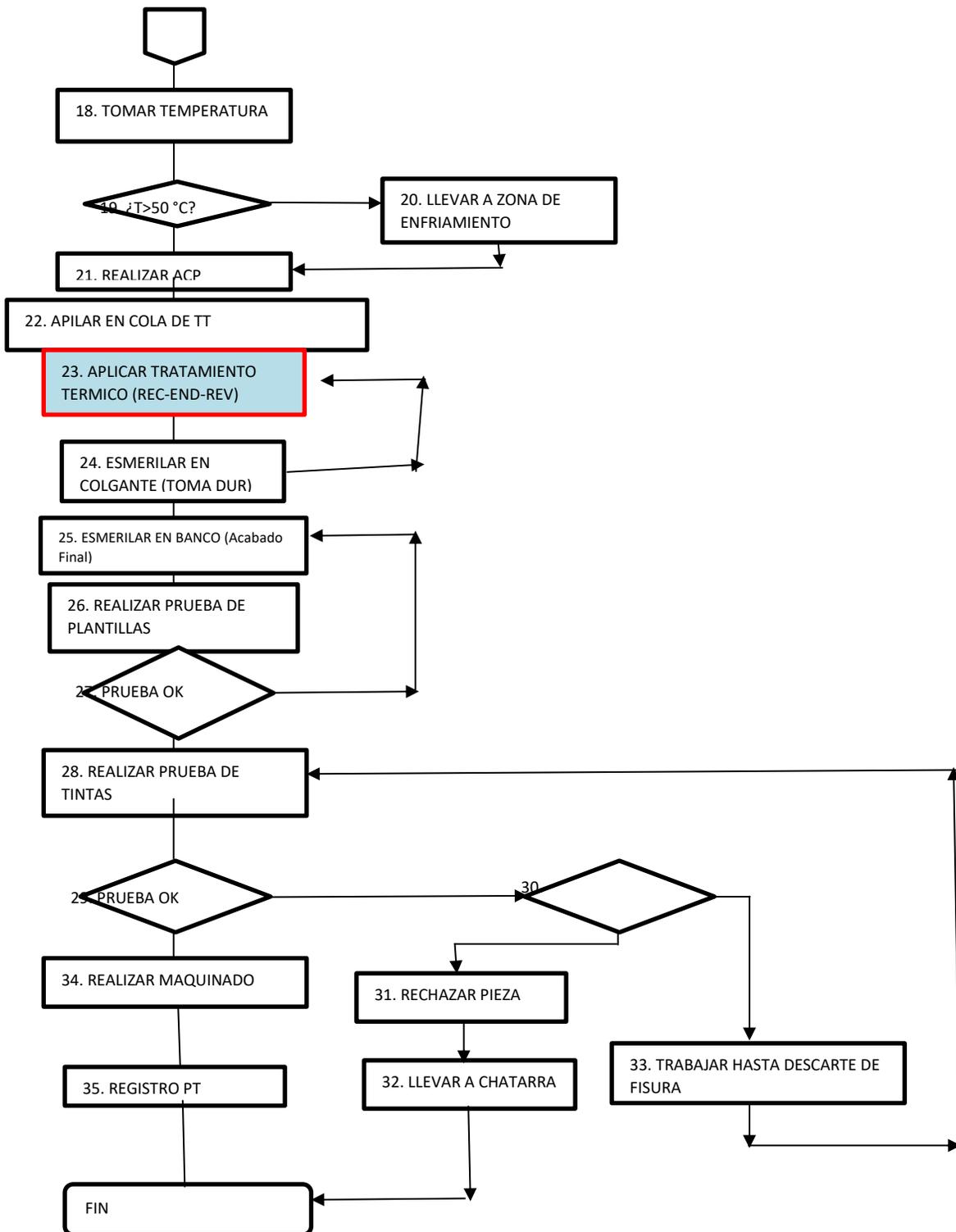
Patil, R. B., Kothavale, B. S., Waghmode, L. Y., & Pecht, M. (2019). Journal of Quality in Maintenance Engineering. *Life cycle cost analysis of a computerized numerical control machine tool: a case study from Indian manufacturing industry*. USA, Volumen: 27(1). 107 - 128: <https://www.emerald.com/insight/publication/issn/1355-2511/vol/27/iss/1>.

- Peña, N. (2019). *Perfeccionamiento de los parámetros técnicos y constructivos en el horno de tratamiento térmico de la UEB fundición*. Mao, Cuba, [Tesis de Pregrado, Universidad de MOA]: <https://1library.co/document/qo3p94mq-perfeccionamiento-parametros-tecnicos-constructivos-horno-tratamiento-termico-fundicion.html>.
- Ríos, R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción (1ra Edición)*. España: Servicios Académicos Intercontinentales S.L.
- Tipian, E. E. (2017). *Mejoramiento del proceso productivo para reducir el índice de reproceso utilizando las 7 herramientas de la calidad en la empresa Metalúrgica Vulcano SAC, Huachipa 2017*. Lima, Perú, [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]: <https://hdl.handle.net/11537/12842>.
- Uribe, J. (2021). *Fundamentos de control estadístico de procesos para gestores y administradores tecnológicos*. Colombia: Fondo Editorial ITM.

ANEXOS

Anexo A. Flujograma de producción de piezas fundidas:





Fuente Elaboración y Formulación: Propia

Anexo B. Matriz de consistencia

Control estadístico de procesos y análisis de problemas en el tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima – 2021.			
Problema general	Objetivo general	Variables	Metodología
¿De qué manera el control estadístico de procesos identificará problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?	Aplicar control estadístico de procesos para identificar problemas en el tratamiento térmico de las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.	<p>Variable independiente: Control Estadístico de Procesos</p> <p>Variable dependiente: El Tratamiento Térmico</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Descriptivo</p> <p>Diseño de la investigación: No Experimental</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Técnica: Observación</p> <p>Instrumento: Registro de datos</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos		
¿De qué manera las gráficas de control individuales y rangos móviles identificarán la variabilidad y sus causas comunes o especiales en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?	Aplicar las gráficas de control individuales y rangos móviles para establecer la variabilidad y sus causas comunes o especiales en el proceso de tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.		
¿De qué manera el índice de capacidad potencial de proceso identificará si es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?	Analizar la capacidad potencial del proceso para conocer si es capaz de producir dentro de las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.		
¿De qué manera el índice de capacidad real identificará si el proceso es centrado con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021?	Analizar la capacidad real del proceso para establecer si es centrado con respecto a las especificaciones de tratamiento térmico para las piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima 2021.		

Fuente Elaboración y Formulación: Propia

Anexo C. Cuadro de Operacionalización de Variables.

Control estadístico de procesos y análisis de problemas en el tratamiento térmico de piezas de acero en la empresa Aceros Chilca SAC, Lima – 2021.2021					
Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala a medición	Tipo de variables
Control estadístico de procesos (VI)	Son herramientas muy utilizadas para la resolución de problemas de calidad, hace foco en lograr la estabilidad y mejorar la capacidad del proceso a través de la reducción de la variabilidad de ciertas variables cuantificables y medibles.	Graficas de control	$St=(NPE/NTP) \times 100$ % Inestabilidad	Razón	Numérica
		Capacidad de proceso	$Cp= ES-EI/6DE$ Grado de cumplimiento con el índice de capacidad de proceso		
		Capacidad real de proceso	$Cpk=Min \text{ de } (M-EI/3DE; ES-M/3DE)$ Grado de cumplimiento con el índice de capacidad real de proceso		
Tratamiento térmico (VD)	Se define como el modo de mejorar la resistencia, ductilidad, dureza y algunas otras propiedades de los metales a aquellos procesos que involucran temperatura, es decir, es la operación de calentamiento o enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para mejorar sus propiedades mecánicas.	Proceso	Control de dureza	Razón	Numérica

Anexo D. Familia de aceros por aleación:

<p>Aceros al manganeso (10)</p> <p>10 AB-1 20 AB-3 30 AB-5 31 AB-5E 32 AB-3E 40 AB-8 50 AB-9 60 AB-4 61 AB-4E</p>	<p>Aceros cromo molibdeno (20)</p> <p>10 AC-2A 20 AC-2B 30 AC-2 31 AC-2E 32 AC-2CAS 33 AC-2PK 34 AC7-8CD 35 AC-2T 36 AC-3T 37 AC-2F (8Y-DA70) 40 AC-4 41 AC-4E 42 AC-4H 43 AC-4A (8Z-DA85) 50 AC-B 60 AC-OUT3 70 AC-5 80 AC-6 81 AC6-8CT 82 AC-2H 83 AC-4C</p>	<p>Aceros de baja aleación (30)</p> <p>10 AA-1 20 AA-3 30 AA-4 40 AA-5E 50 QAS-1 60 AA-3E 70 AA-9 80 QAS-3 90 AA-2</p>	<p>Fierros Alto cromo (40)</p> <p>10 AM-1 20 AM-2 21 AM-2A 30 AM-3 40 AM-1/1E 50 AM-2/2E 60 AM-3/3E 70 AE-1 80 AM-4 90 AM-5</p>	<p>Fierros grises (50)</p> <p>10 AH-1 20 AH-3 30 AH-4</p>
<p>Acero inoxidable (70)</p>		<p>Acero refractario (80)</p> <p>10 AD-3</p>	<p>Aceros de alta resistencia (90)</p> <p>10 AX-1 20 AX-2</p>	<p>Fierro nodular (60)</p> <p>10 AH-6 20 AH-7 30 AH-5</p>
				<p>Otros Aceros (00)</p>

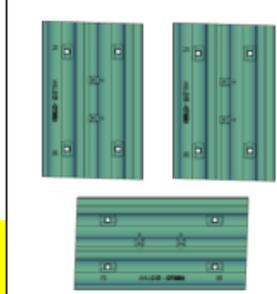
Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Anexo E. Hoja de ruta de acería, desmoldeo y acabados primarios.

	HOJA DE RUTA - ACERÍA / DESMOLDEO/ ACAB. PRIMARIO		CÓDIGO: IPC-FOR-012 VERSIÓN: 1 REVISIÓN: 1 FECHA: 10/09/2021
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN		
INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE LA FICHA TÉCNICA			
METALURGICA PERUANA S.A.		ITEM: 003 Fecha de autorización: 26/10/2020	
		CLIENTE: SOC. MINERA CERRO VERDE S.A.A. O/C: 4502593494	
DESCRIPCIÓN: Linner Cilindro Modelo Humb Bump Anillo 5		TIPO DE PIEZA	
Cantidad: 24 PESO: 1.800 KG	Nuevo	Repetitivo	<input checked="" type="checkbox"/> Modificado
	Compras	Mecanizado	<input type="checkbox"/> Muestra
INFORMACIÓN MEPSA		INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
Plano: 1080021 Revisión: 0	Código: 40203292	N° Plano: -	
Código: 108002101 Metal: AM-2E	Material: -	Revisión: -	
Dureza: 622 - 673 BHN	Especificación Técnica:		SEGÚN ESPECIFICACION ACEROS CHILCA Y DOCUMENTO Especificaciones para linner SMCV Rev. 06
Familia: FORROS EN ALTO CROMO > 6"			
REQUERIMIENTOS / ANOTACIONES: DUREZA: 622 - 673 BHN			
INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE LA HOJA TÉCNICA			
ACERÍA		VACIADO/DESMOLDEO	
MATERIAL: AM-2E PROCED. DE FUSIÓN: AC-INS-002 VER. 5	T° DE VACIADO: 1370 1400 °C TIEMPO DE DESMOLDEO (hrs): 152 T° DE DESMOLDEO: < 150 °C		
T° DE SANGRADO: 1470 1500 °C T° DE LA CUCHARA: 900-1100 °C TIPO DE CUCHARA: VACIADO POR EL FONDO			
ESPECIFICACIONES DE ROTURA DE LOS ALIMENTADORES (ACABADO PRIMARIO)			
Rotura con martillo neumático	<input checked="" type="checkbox"/>		
Rotura con comba	<input checked="" type="checkbox"/>		
Dirección de impacto			
NOTA: * ROMPER MANGUITOS CON MARTILLO NEUMATICO A UNA PRESION DE 35 A 45 PSI (BAR). * ROMPER SISTEMA DE COLADA, DESFOGUES Y ESCORIADES CON COMBA.			
Supervisor de Control de Calidad	Ingeniero Especialista de Procesos y Tratamiento Térmico		Jefe de Control Procesos y Aseguramiento de Calidad
Nombre:	Nombre: Manuel Gil Rivera		Nombre:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021
REV	FECHA	APROBADO POR	OBSERVACIONES
1	9/11/2020	MANUEL GIL	MODIFICACIÓN HOJA DE RUTA, SE INCLUYO TT PERLITIZADO COMO 1ER TT

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Anexo F. Hoja de ruta de acabados y tratamiento térmico

		HOJA DE RUTA - ACABADOS / TT		CÓDIGO: WC-FOR-012 VERSIÓN: 1 REVISIÓN: 1 FECHA: 10/09/2021																						
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN																										
INFORMACIÓN EXTRAIDA DE LA FICHA TÉCNICA																										
METALURGICA PERUANA S.A.			ITEM: 003	Fecha de autorización: 26/10/2020																						
			CLIENTE: SOC. MINERA CERRO VERDE S.A.A.																							
			O/C: 4502593494																							
DESCRIPCIÓN: Liner Cilindro Modelo Humb Bump Anillo 5			TIPO DE PIEZA																							
Cantidad: 24	PESO: 1,800 KG		Nuevo	Repetitivo	<input checked="" type="checkbox"/> Modificado																					
			Compras	Mecanizado	Muestra																					
INFORMACIÓN MEPSA			INFORMACIÓN DEL CLIENTE																							
Plano: 1080021	Revisión: 0	Código: 40203292	N° Plano: -																							
Código: 108002101	Metal: AM-2E	Material: -	Revisión: -																							
Dureza: 622 - 673 BHN	Familia: FORROS EN ALTO CROMO > 6"		Especificación Técnica:	SEGÚN ESPECIFICACION ACEROS CHILCA Y DOCUMENTO Especificaciones para liner SMCV Rev. 06																						
REQUERIMIENTOS / ANOTACIONES:																										
DUREZA: 622 - 673 BHN																										
INFORMACIÓN EXTRAIDA DE LA HOJA TÉCNICA																										
ACABADOS			DISEÑO DE LA SECUENCIA DE TRABAJO																							
ROTURA DE ALIMENTADORES: ANTES DE TT MODU: GOLPE ESMERILAR: DESPUES DE TT REPARACION: NO REPARABLE LIBERACION: DESPUES DE TT																										
SECUENCIA DE TRABAJO																										
1 Ingresar al horno sin rebarras, metalizaciones y arena. 2 Tomar dureza luego de T.T antes de calidad. 3 Esmerilar excesos hasta entrar en tolerancia. 4 Descartar defectos si es que lo tuviese. 5																										
TRATAMIENTO TÉRMICO																										
MÓDULO DE LA PIEZA	4.5 cm																									
ESPESOR MÁXIMO	7 pulgadas																									
Ø DE ESFERA	6 3/4 pulgadas																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO TT</th> <th>TIPO DE ENFRIAMIENTO</th> <th>N° CURVA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> NORMALIZADO</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> RECOCIDO</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> ENDURECIDO</td> <td>AIRE FORZADO</td> <td>C-179</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> REVENIDO</td> <td>AL AMBIENTE</td> <td>C-182</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> PERLITIZADO</td> <td>AL AMBIENTE</td> <td>C-25</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> TEMPLADO</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			TIPO TT	TIPO DE ENFRIAMIENTO	N° CURVA	<input type="checkbox"/> NORMALIZADO			<input type="checkbox"/> RECOCIDO			<input checked="" type="checkbox"/> ENDURECIDO	AIRE FORZADO	C-179	<input checked="" type="checkbox"/> REVENIDO	AL AMBIENTE	C-182	<input checked="" type="checkbox"/> PERLITIZADO	AL AMBIENTE	C-25	<input type="checkbox"/> TEMPLADO					
TIPO TT	TIPO DE ENFRIAMIENTO	N° CURVA																								
<input type="checkbox"/> NORMALIZADO																										
<input type="checkbox"/> RECOCIDO																										
<input checked="" type="checkbox"/> ENDURECIDO	AIRE FORZADO	C-179																								
<input checked="" type="checkbox"/> REVENIDO	AL AMBIENTE	C-182																								
<input checked="" type="checkbox"/> PERLITIZADO	AL AMBIENTE	C-25																								
<input type="checkbox"/> TEMPLADO																										
INFORMACIÓN TÉCNICA PARA TT																										
PERLITIZADO (C-25): Inicia con 60°C/h, 9 horas a 850°C, enfriamiento dentro del horno apagado hasta 400°C y luego retirar la carga para su enfriamiento al ambiente.				POSICIÓN Y CANTIDAD PIEZAS POR CARGA																						
ENDURECIDO (C-179): Inicia con 40°C/h, 700°C a 6h; 60°C/h, 8h a 1000°C, enfriamiento aire forzado hasta 200°C y luego retirar la carga para su enfriamiento al ambiente.																										
REVENIDO (C-182): Inicia con 60°C/h hasta 530°C, mantener 9h a 530 °C, luego enfriamiento al ambiente.																										
CUMPLIMIENTO DE PRÁCTICAS ESTÁNDARES:																										
1) Después del TT de Perlitzado limpiar/remover los filos en las piezas antes de ingresar al 2do TT.																										
2) Usar parrillas rectas y en buen estado que permitan nivelar la carga con regla.																										
3) Mantener fija la carga a la parrilla con una sujeción adecuada antes de ingresar al horno.																										
4) Respetar la distancia entre piezas para tener una mejor distribución del calor.																										
Supervisor de Control de Calidad		Ingeniero Especialista de Procesos y Tratamiento Térmico		Jefe de Control Procesos y Aseguramiento de Calidad																						
Nombre:	Nombre:	Nombre: Manuel Gil Rivera	Nombre:	Nombre:																						
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:																					
FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021	FECHA: 10/09/2021																					
OBSERVACIONES																										
REV 1	FECHA 9/11/2020	APROBADO POR MANUEL GIL	MODIFICACIÓN HOJA DE RUTA, SE INCLUYO TT PERLITIZADO COMO 1ER TT																							

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Anexo G. Hoja de ruta control de calidad

MEPSA ACEROSCHILCA		HOJA DE RUTA - CONTROL DE CALIDAD				CÓDIGO: IPC-08-012			
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN				VERSIÓN: 1		REVISIÓN: 1			
				FECHA: 10/09/2021					
INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE LA FICHA TÉCNICA									
METALURGICA PERUANA S.A.				ITEM: 003	Fecha de autorización: 28/10/2020				
				CLIENTE: SOC. MINERA CERRO VERDE S.A.A.					
				O/C: 4502593494					
DESCRIPCIÓN: Linner Cilindro Modelo Humb Bump Anillo 5				TIPO DE PIEZA					
Cantidad: 24	PESO: 1,800	KG		Nuevo	Repetitivo	X	Modificado		
				Compras	Mecanizado		Muestra		
INFORMACIÓN MEPSA				INFORMACIÓN DEL CLIENTE					
Plano: 1080021	Revisión: 0	Código: 108002101	Metal	AM-2E	Código: 40203292	N° Plano: -	-		
Dureza: 622 - 673	BHN	Material: -		Revisión: -	Especificación Técnica: SEGÚN ESPECIFICACION ACEROS CHILCA Y DOCUMENTO Especificaciones para linner SMCV Rev. 06				
Familia: FORROS EN ALTO CROMO > 6"				REQUERIMIENTOS / ANOTACIONES:					
DUREZA: 622 - 673 BHN									
INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE LA FICHA TÉCNICA									
LISTADO DE ENSAYOS / REQUERIMIENTOS SOLICITADOS									
Inspección a realizar		OBSERVACIONES	Certificados de Calidad a entregar		OBSERVACIONES				
X	COMPOSICIÓN QUÍMICA	100%	X	COMPOSICIÓN QUÍMICA	20%				
X	DUREZA	100%	X	DUREZA	20%				
X	CONTROL DIMENSIONAL	40%	X	CONTROL DIMENSIONAL	20%				
X	INSPECCIÓN VISUAL	100%	X	INSPECCIÓN VISUAL	20%	ASTM A802 Scrata nivel 3			
X	REGISTRO ENSAYO P.M.	100%	X	REGISTRO ENSAYO P.M.	100% (RESUELLOS, AGUJEROS, RADIOS, OREJAS Y ENTRADAS)	Según ASTM E709 Nivel 3 - Vía seca - No fisuras			
X	REGISTRO ENSAYO DE U.T.	40%	X	REGISTRO ENSAYO DE U.T.	20% (RESUELLOS Y LIFTER)	Según ASTM A659 Procedure "A" - Table 2 - Level 3			
OTROS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD									
X	CERTIFICADOS DE CALIDAD AL CLIENTE		X	USO DE MACHINAS / PLANTILLAS	PLANTILLA DE PERIMETRO Y AGUJEROS, PASA NO PASA, PERNO DE MADERA				
PUNTOS DE DUREZA / OTROS CONTROLES									
<p style="text-align: center;">● PUNTOS DE DUREZA</p>									
Supervisor de Control de Calidad		Ingeniero Especialista de Procesos y Tratamiento Térmico			Jefe de Control Procesos y Aseguramiento de Calidad				
Nombre:		Nombre: Manuel Gil Rivera			Nombre:				
Fecha:		Fecha:			Fecha:				
10/09/2021		10/09/2021			10/09/2021				
REV	FECHA	APROBADO POR	OBSERVACIONES						
1	9/11/2020	MANUEL GIL	MODIFICACIÓN HOJA DE RUTA, SE INCLUYO TT PERLITIZADO COMO 1ER TT						

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

MEPSA		REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA / HARDNESS TEST REPORT		SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN							
Código: IPZ-FOR-005		Versión: 05		Página 1 de 1							
Fecha de aprobación: 13-03-2020											
N° Certificado:		N° Reporte:		Páginas de							
INFORMACIÓN GENERAL / GENERAL INFORMATION :											
Cliente / Customer:		Aleación / Alloy:		177-2							
Descripción de la pieza / Description of part:		Cantidad / Quantity:		1							
Código / Pattern N°:		Fecha del Ensayo / Test Day:		13/05/21							
		Turno / Turn:		B							
CONDICIONES DEL ENSAYO / TEST CONDITIONS											
Máquina de Dureza / Machine of Hardness:		PIN BRINELL <input checked="" type="checkbox"/> ROCKWELL PENETRATOR <input type="checkbox"/> MAGNETIC BRINELL AND ROCKWELL HARDNESS TESTER <input type="checkbox"/> EQUOTIP <input type="checkbox"/>									
Condición de la Muestra / Condition of Sample:		Esmerilada / Grinding <input checked="" type="checkbox"/> Maquinada / Machined <input type="checkbox"/> Carga / Load (Kgf): 3000 Kgf <input type="checkbox"/> Otros / Others <input type="checkbox"/>									
Estándar de Referencia / Estándar of Test:		ASTM E-10 / E-110 <input checked="" type="checkbox"/> Otros / Others <input type="checkbox"/> Diámetro del Indentador / Diameter Ball (mm): 10 mm <input type="checkbox"/> Otros / Others <input type="checkbox"/>									
Lugar de Ensayo / Place of Test:		En Proceso / In Process <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura / Welding <input type="checkbox"/> Temperatura del Ensayo / Test Temperature: 28° C		Rango de Dureza / Range of Hardness (HB): 600 - 630							
RESULTADOS DEL ENSAYO / TEST RESULT :											
ITEM	Nro. DE PIEZA / PIECE	VALOR DE DUREZA / HARDNESS VALUE (HB)	RESULTADOS / RESULTS			ITEM	Nro. DE PIEZA / PIECE	VALOR DE DUREZA / HARDNESS VALUE (HB)	RESULTADOS / RESULTS		
			ACEPTADO / ACCEPTED	RECHAZADO / REJECT	OTROS / OTHERS				ACEPTADO / ACCEPTED	RECHAZADO / REJECT	OTROS / OTHERS
1	9	588 - 561		X		16					
2						17					
3						18					
4						19					
5						20					
6						21					
7						22					
8						23					
9						24					
10						25					
11						26					
12						27					
13						28					
14						29					
15						30					
OBSERVACIONES / OBSERVATIONS						TRAT. TÉRMICO					
						RETRATADOS <input type="checkbox"/>					
APROBACION FINAL / FINAL APPROVAL											
INSPECTOR DE CONTROL DE CALIDAD / QUALITY CONTROL INSPECTOR		SUPERVISOR DE CONTROL DE CALIDAD / QUALITY CONTROL SUPERVISOR		JEFE DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD		SUPERVISION DE CG / CA					
Name:		Name:		Name:		Name:					
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:					
D:		D:		D:		D:					
M:		M:		M:		M:					
A:		A:		A:		A:					
ACEROS CHILCA S.A.C		ACEROS CHILCA S.A.C		ACEROS CHILCA S.A.C							



Anexo I. Registro de inspecciones diarias (Durezas para la matriz).

MEPSA		REGISTRO DE INSPECCIONES DIARIAS										SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN														
LEYENDA		Codigo: IPZ-FOR-041				Version: 02				Página 1 de 1																
		Fecha de aprobación: 22-06-2021																								
ITEM	TURNO	BANCO	CODIGO	METALES PIEZ.	DUREZA		DUREZA AL	DUREZA BA	RETRAIAK	VT		MT		DIM		PI	UT	PERMITS	P. PERNO	PAST. YU	PASA	PINS	APT	OBSERVACIONES Y/O OCURRENCIA		
					ZONA DE TRABAJO	ZONA DE ENSAMBLE				Z. EN	Z. TR	Z. EN	Z. TR	Z. EN	Z. TR											
1	31	B	108002001	AM-2	96	673 - 665	-																			
2			II		85	665 - 650	-																			
3																										
4					108002101		47	665 - 622	-																	
5					108002101		29	622 - 665	-																	
6					II		52	673 - 622	-																	
7					108003901		55	658 - 650	-																	
8					II		5/N	648 - 673	-																	
9					II		33	622 - 622	-																	
10			R	B	100200901	AC-4	287	377 - 381	-																	
11	I	I			253	421 - 407	-																			
12							279	403 - 441	-																	
13							288	381 - 384	-																	
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21			108002001	AM-2	89	-	-																			
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										
31																										
32																										
33																										
34																										
35																										
36																										
37																										
38																										
39																										
40																										

Solo insp. zona de trabajo
~~Reinsp.~~

MEPSA ACEROS CHILCA		REGISTRO DE INSPECCIONES DE PIEZAS										SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN										
Código: IPZ-FOR-011		Versión: 02		Página 1 de 1										Fecha de aprobación: 22-06-2021								
ITEM	TURNO	BANCO	CODIGO	META# PIEZ	DUREZA		DUREZA AL	DUREZA EN	RETRATADO	VT		MT		DIM		F	U	P	P	P	P	OBSERVACIONES Y OCURRENCIA
					ZONA DE TRABAJO	ZONA DE ENSAMBLE				Z EN	Z TR	Z EN	Z TR	Z EN	Z TR							
1			108002001	79	665-643					✓	✓	✓	✓	✓	✓							
2			108003901	37	652-658					✓	✓	✓	✓	✓	✓							
3			108003801	56	665-673					✓	✓	✓	✓	✓	✓							
4			108002101	32	652-665					✓	✓	✓	✓	✓	✓							
5																						
6	FECHA	B																				
7																						
8	01/09/21																					
9																						
10																						
11	TURNO	B	108002001	93	--					✓	✓	✓	✓									
12			108002001	54	--					✓	✓	✓	✓									
13	"a"		108001901	5	--					✓	✓	✓	✓									
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22	INSPECTOR	B																				
23	J. Ocaña																					
24	F. Tamayo																					
25	Nombre y Apellido																					
26																						
27																						
28																						
29																						
30																						
31																						
32																						
33																						
34																						
35																						
36																						
37																						
38																						
39																						
40																						

Piezas Respeccionadas 100%
Z Ensamble Solo Descarte MT.

Anexo J. Los índices C_p , C_{pi} y C_{ps} en términos de 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	548506.130	27.4253	274253.065
0.3	36.8120	368120.183	18.4060	184060.092
0.4	23.0139	230139.463	11.5070	115069.732
0.5	13.3614	133614.458	6.6807	66807.229
0.6	7.1861	71860.531	3.5930	35930.266
0.7	3.5729	35728.715	1.7864	17864.357
0.8	1.6395	16395.058	0.8198	8197.529
0.9	0.6934	6934.046	0.3467	3467.023
1.0	0.2700	2699.934	0.1350	1349.967
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

Fuente y Elaboración y Formulación: (Gutiérrez, 2017).

Anexo K. Registro de durezas Brinell de rango 622-673 del metal AM-2E.

MES	SEMANA	AÑO	INSPECTOR	CÓDIGO	METAL	DESCRIPCION	CLIENTE	Unit (Kg.)	P. PIEZ
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	DORIA	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	34	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	34	2021	DORIA	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	DORIA	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	DORIA	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	DORIA	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	DORIA	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	34	2021	DORIA	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	TAMARA	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	TAMARA	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	34	2021	SALAS	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	34	2021	SALAS	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	34	2021	TAMARA	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	35	2021	SALAS	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	35	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	35	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	35	2021	SALAS	108002101	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 3-4	CERRO VERDE	1830	
Agosto	35	2021	SALAS	108001901	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO (40228885)	CERRO VERDE	2068	
Agosto	35	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	
Agosto	35	2021	SALAS	108002001	AM-2E	HUMB & BUMP ANILLO 5	CERRO VERDE	1880	

Fuente y Elaboración y Formulación: Propia

Anexo L. Registro de durezas Brinell de rango 600-650 del metal AM-2E

EMANA	ÑO	INSPECTOR	C	ÓDIGO	ETAL	DESCRIPCION	LIENTE	Unit (Kg.)	PIEZ A	UREZA MINIMA	UREZA MAXIMA	ANGO	PROMEDIO DUREZA	IPON DE ZONA	STADO	UEA DUREZA	EPROCESO
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	8 00	50	00 650	-	619	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	6 00	50	00 650	-	626	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	4 00	50	00 650	-	612	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	NCO	A	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	4 00	50	00 650	-	626	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	NCO	A	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	2 00	50	00 650	-	647	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	2 00	50	00 650	-	623	RABAJO	BERADO	LI	
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	5 00	50	00 650	-	691		O LIBERADA	N D UREZA BAJA	ETRATADA R
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	5 00	50	00 650	-	588		O LIBERADA	N D UREZA BAJA	ETRATADA R
2	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	4 00	50	00 650	-	626		BERADO	LI	
2	021	NCO	A	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	9 00	50	00 650	-	643	RABAJO	BERADO	LI	
3	021	ALAS	S	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	0 00	50	00 650	-	609	RABAJO	BERADO	LI	
3	021	ALAS	S	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	5 00	50	00 650	-	615	RABAJO	BERADO	LI	
1	021	HAVEZ	C	0800390 1	M-2E	HUMB & ANILLO - 1 (40203290)	BUMP ERRO VERDE	354	8 00	50	00 650	-	633	RABAJO	BERADO	LI	

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC

Anexo M. Registro de durezas Brinell de rango 321-375 del metal AC-4H

URNO	ECHA	ES	EMANA	Nº	INSPECTOR	CÓDIGO	ETAL	DESCRIPCION	LIENTE	Unit (Kg.)	PIEZ A	UREZA MINIMA	UREZA MAXIMA	ANGO	UREZA	IPO DE ZONA	STADO
	2/07/2021	ulio	9	021	QUINO	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	4	21	75	21 - 375	37	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	ALAS	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	3	21	75	21 - 375	51	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	QUINO	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	2	21	75	21 - 375	36	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	QUINO	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	1	21	75	21 - 375	69	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	QUINO	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	9	21	75	21 - 375	69	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	ALAS	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	2	21	75	21 - 375	74	RABAJO	IBERADO
	2/07/2021	ulio	9	021	ALAS	00209001	C-4H	SHELL LOW FE LINER	UDBAY	164	9	21	75	21 - 375	51	RABAJO	IBERADO
	3/07/2021	ulio	9	021	ORIA	00209001	C-4H	SHELL LOW FE LINER	UDBAY	164	3	21	75	21 - 375	26	RABAJO	IBERADO
	3/07/2021	ulio	9	021	ALAS	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	9	21	75	21 - 375	42	RABAJO	IBERADO
	3/07/2021	ulio	9	021	HAVEZ	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	9	21	75	21 - 375	50		IBERADO
	3/07/2021	ulio	9	021	ALAS	00209101	C-4H	SHELL HIGH DE LINER	UDBAY	669	8	21	75	21 - 375	54	RABAJO	IBERADO

3/07/2021	ulio	9	021	HAVEZ	(	00209001	C-4H	SHELL LOW	FE LINER	UDBAY	164	8	21	75	21 - 375	50	IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	ORIA	[	00209101	C-4H	SHELL HIGH	DE LINER	UDBAY	669	7	21	75	21 - 375	72	RABAJO IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	ORIA	[	00208901	C-4H	SHELL HIGH	FE LINER	UDBAY	461	6	21	75	21 - 375	47	RABAJO IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	ALAS	ξ	00209101	C-4H	SHELL HIGH	DE LINER	UDBAY	669	5	21	75	21 - 375	46	RABAJO IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	HAVEZ	(	00209101	C-4H	SHELL HIGH	DE LINER	UDBAY	669	5	21	75	21 - 375	42	IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	ALAS	ξ	00209101	C-4H	SHELL HIGH	DE LINER	UDBAY	669	4	21	75	21 - 375	25	RABAJO IBERAD O
3/07/2021	ulio	9	021	HAVEZ	(	00209101	C-4H	SHELL HIGH	DE LINER	UDBAY	669	4	21	75	21 - 375	25	RABAJO IBERAD O

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Anexo N. Definiciones de Control estadístico de procesos.

Control: Quiere decir que un proceso se mantiene dentro de los límites que nos permiten llegar a los resultados de los objetivos trazados dentro de un horizonte de planeación; Estadística: Parte de la ciencia que se ocupa de recopilar, organizar, analizar y extraer un conjunto de datos e información para ser procesados y dar alguna métrica; Proceso: Son actividades que interactúan y se relacionan entre sí, producto de ello las entradas se convierten en salidas (Gutiérrez, Calida y productividad, 2017), figura 11.

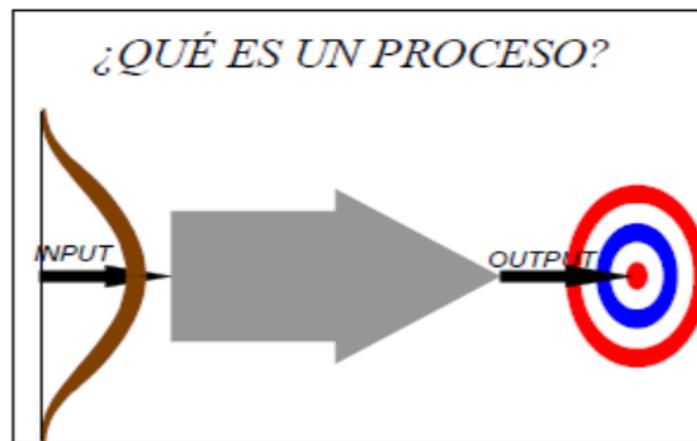


Figura 10. Proceso de entrada y salida
Fuente Elaboración y Formulación: (Evans & Lindsay, 2008)

Para Cuatrecasas(2017) el CEP establece una herramienta fundamental para el seguimiento y aseguramiento de las fases de un proceso mediante el procedimiento estadístico de los datos recopilados, con el objetivo de reducir la variabilidad y controlar además de mejorar el proceso.

Según ADS Quality(2018) el control estadístico de procesos es un método de mejora continua de la calidad basado en la reducción sistemática de la variación de aquellas características que más influyen en la calidad de los productos o servicios, mediante el seguimiento, control y mejora de los procesos.

El control estadístico de procesos está conformado de un conjunto de técnicas y conceptos orientados a la recolección y el análisis de datos tomando en cuenta su variación. En todo tipo de organizaciones y en una gran variedad de procesos (Gutiérrez, Calida y productividad, 2017).

El CEP es un conjunto de técnicas estadísticas que se utilizan para comprender un proceso y controlar con el fin de lograr resultados que cumplan o superen las expectativas del cliente (Gómez y Gómez, 2019).

Variación: Quiere decir que un proceso presenta diversidad de resultados, dos o más características no pueden ser iguales, tal como indica los autores, que la variación es las diferencias que existe entre una cosa con otra, (Izar y Gonzales, 2004)

La variación es parte de nuestra vida diaria: el tiempo que tardamos de nuestra casa a nuestro trabajo o escuela es diferente de un día a otro; la temperatura del ambiente es diferente de una hora a otra; lo dulce de una bebida preparada en casa es diferente de un día a otro, aunque aparentemente se preparó igual, etc. (Gutiérrez, Calida y productividad, 2017)

Herramientas estadísticas.

Histograma: Es una herramienta para mostrar la tendencia de datos, es un diagrama de frecuencias que nos muestra la situación en que se encuentra un proceso, un lote o una muestra de una población (Izar & Gonzales, 2004).

Los datos que se recopilan al medir estas variables se comparan con los requerimientos, analizan el comportamiento del proceso en si mostrando las causas que diagnostican en grado en que se encuentran un determinado proceso, identifican tendencias de alguna causa que está saliéndose de límites de control permissible, figura 12.

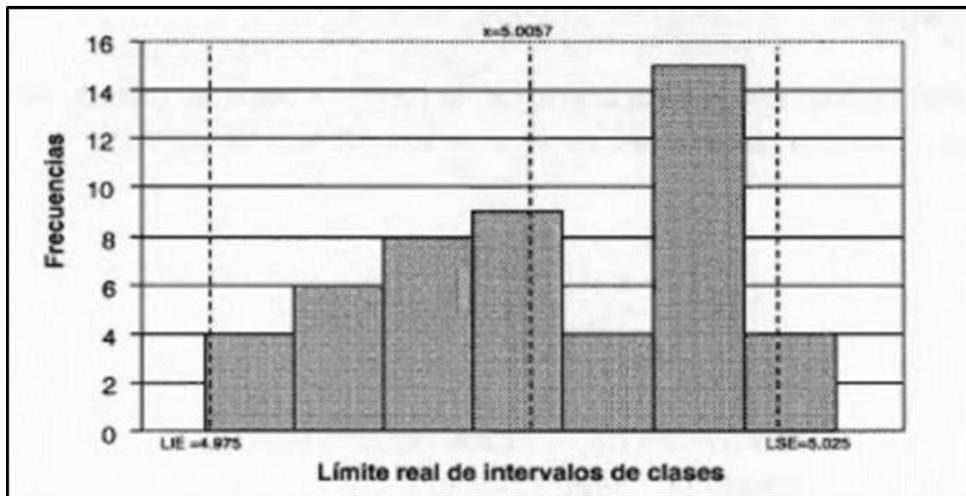


Figura 11. Histograma de frecuencias
Fuente: (Gutiérrez, 2010)

Graficas de control: Mediante la elección con perspectivas estadísticas del campo de variabilidad de un proceso, estos gráficos, nos permitirán distinguir cuándo en el proceso actúan causas especiales o comunes (ADS Quality, 2018).

Causas Comunes. Están conformadas de forma aleatoria ligadas directamente al comportamiento de las 6 M: métodos, materiales, mano de obra, máquinas, mediciones y medio ambiente, que están en constante actuación dentro del sistema productivo.

Causas Especiales. Estas aparecen dentro del aparato productivo de un sistema de forma repentina y no son predecibles, ni consistentes, dados por factores externos a la línea, (Gutiérrez, 2010).

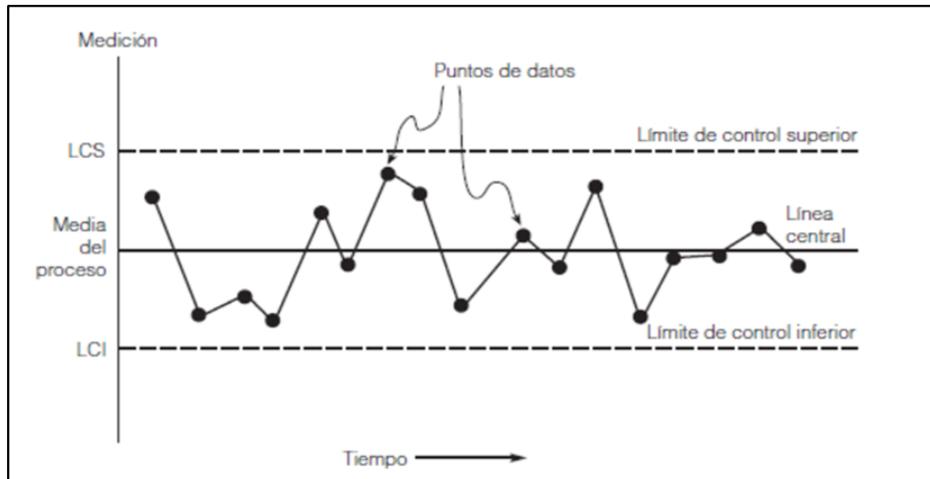


Figura 12. Gráficas de control y su estructura
Fuente Elaboración y Formulación: (Gutiérrez, 2010)

Para determinar los límites de control se procede mediante la estimación de la media y la desviación estándar del estadístico w que se grafica en la carta, “que en este caso es directamente la medición individual de la variable X . Por ello, los límites se obtienen con la expresión $\mu_x \pm 3\sigma_x$. Donde μ_x y σ_x son la media y la desviación estándar del proceso”, respectivamente. Es decir, los límites de control en este caso coinciden por definición con los límites reales (Gutiérrez, 2017, pág. 254).

En un estado inicial, estos parámetros se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_x = \bar{x} \quad y \quad \sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{1.128}$$

Donde \bar{X} es la media de las mediciones de los subgrupos y \bar{R} es la media de los rangos móviles de orden dos (rango entre dos observaciones sucesivas en el proceso). Al dividir el rango promedio entre la constante d_2 se obtiene una estimación de la desviación estándar del proceso, σ . Además, como en este caso, el rango móvil es de orden dos, entonces el valor de n para determinar d_2 será $n = 2$; por lo tanto, de acuerdo con el apéndice, cuando $n = 2$, $d_2 = 1.128$. De lo anterior se

concluye que los límites de control para una carta de individuales están dados por:

$$\bar{X} \pm 3 \left(\frac{\bar{R}}{1.128} \right)$$

Límite de control inferior = $D_3\bar{R} = 0 \times 2.287 = 0$

Línea central = $\bar{R} = 2.287$

Límite de control superior = $D_4 \times \bar{R} = 3.2686 \times 2.287 = 7.475$

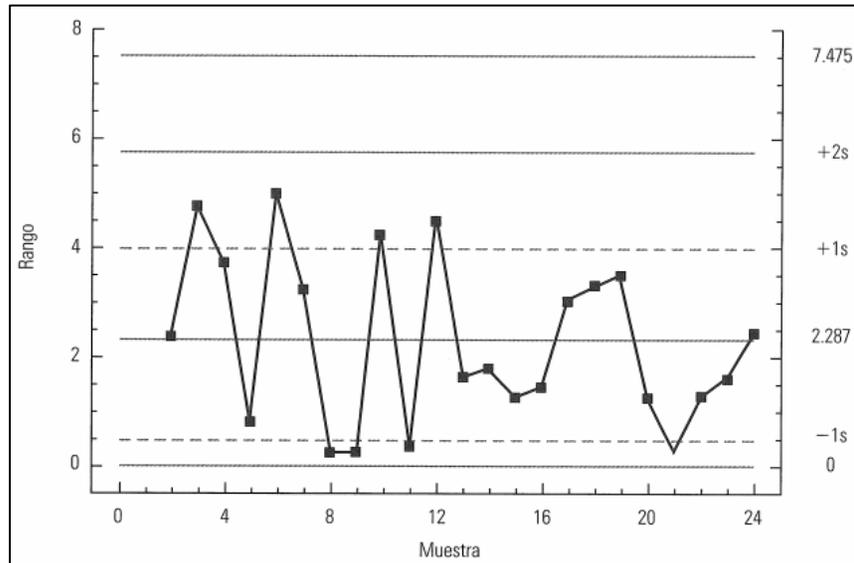


Figura 13. Carta de rangos móviles para la temperatura
Fuente Elaboración y Formulación: (Gutiérrez Pulido, 2017)

Implementación:

Carta: Individuales (X).

Propósito: Analiza cada medida del proceso y detecta principalmente grandes cambios, tanto en la media como en la amplitud de la dispersión. Si la distribución no es normal, la carta se puede ver un poco afectada.

Uso: Procesos de bajo volumen, en los que se requiere un tiempo considerable (de una a varias horas) para obtener un resultado o una medición. O cuando mediciones cercanas en el tiempo solo difieren por error de medición.

Tamaño de subgrupo: Por propósito $n = 1$

Consideraciones adicionales: Si en estos procesos es importante detectar cambios más pequeños y medianos, se recomienda utilizar otra carta más sensible la EWMA o CUSUM (Gutiérrez, 2017, pág. 284).

Método del periodo: Este procedimiento consiste en seleccionar los artículos del subgrupo de las piezas que fueron fabricadas en un período de producción (turno, lote) de manera que el subgrupo sea representativo de la producción total de ese período.

Según Cuatrecasas(2017), evalúa cuántas veces cabría el intervalo $6.s$, también llamado intervalo de tolerancias naturales, dentro de este intervalo (LTS-LTI) se caracteriza por no utilizar la media en su cálculo. Entonces, no sería necesario que la distribución esté centrada, es decir, que el valor central óptimo que deseamos coincida con la media de la distribución:

LTS: Tolerancia superior

LTI: Tolerancia inferior

S: Desviación típica

$$C_P = \frac{LTS - LTI}{6.s}$$

A continuación, se detallan el significado de las medidas del CPK, en la figura 15.

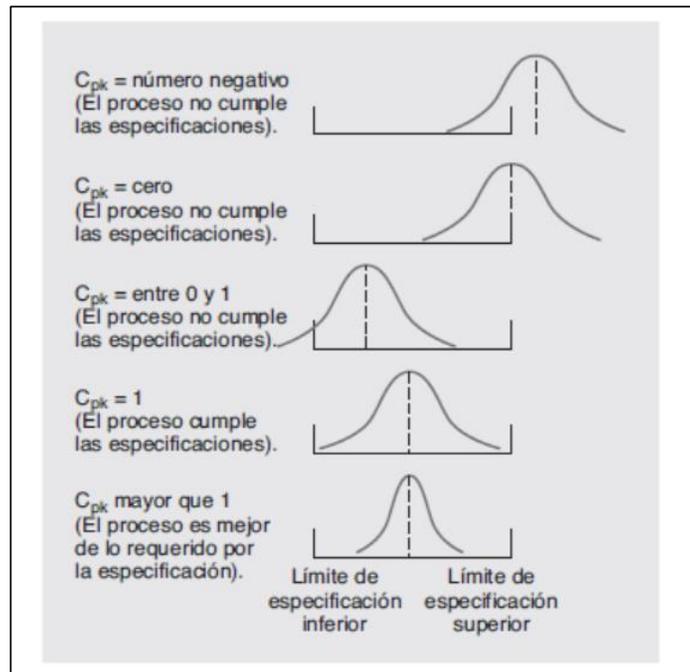


Figura 14. Significado de los resultados del índice CPK

Fuente Elaboración y formulación: (Gutiérrez, 2010)

Índice K: Un aspecto importante del estudio del desempeño de un proceso es evaluar si la distribución de la característica de calidad está centrada con respecto a las especificaciones, por lo que es útil calcular el índice de centrado del proceso (K), que se calcula de la siguiente manera:

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

Anexo O. Definiciones de tratamiento térmico.

Los tratamientos térmicos tienen como objetivo mejorar las prioridades y características de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas durante un tiempo determinado y luego enfriarlas en condiciones adecuadas. De esta

manera, la estructura microscópica de los aceros cambia, ocurren transformaciones físicas y en ocasiones también ocurren cambios en la composición del metal (Apraiz, 2016).

Los tratamientos térmicos se utilizan para mejorar las propiedades de los aceros y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas durante un cierto período de tiempo y luego enfriarlas en las condiciones adecuadas. De esta forma, se cambia la estructura microscópica de los aceros, se producen transformaciones físicas y en ocasiones también cambia la composición del metal (Forero, 2010).

La curva: El resultado más elemental de la prueba es la curva trazada para la carga frente al aumento de longitud, lo que da todo similar a lo que realmente se usa para el esfuerzo frente a la deformación, ya que, para esta última la división del primer valor entre dos constantes, es decir el área inicial y la longitud (Forero, 2010).

Alotropía del hierro: el hierro puro a temperatura ambiente organiza sus átomos en una celda cúbica, con un átomo en cada vértice y un átomo adicional en el centro del cubo, un sistema conocido como cúbico centrado en el cuerpo (BCC), también llamado hierro alfa o ferrita; A medida que aumenta la temperatura, hay poca absorción de calor a 768°C y pierde sus propiedades magnéticas; Esta temperatura se conoce como el punto de hierro de Curie y pasa a llamarse hierro beta (Forero, 2010).

Metalografía: Las propiedades de un metal dependen no solo de su composición química, sino también de su estructura, que se determina mediante análisis metalográfico, que consiste en mirar tubos de ensayo pulidos al microscopio y, por regla general, atacarlos con los reactivos adecuados. El examen metalográfico permite extraer conclusiones sobre el número y disposición de las fases, la forma y tamaño del grano, la historia térmica del metal, las propiedades y, en

algunos casos, una idea aproximada de la composición química; en metalografía, cristal y grano son sinónimos.

Un acero puede tener una multitud de estructuras mediante tratamiento térmico o procesamiento mecánico y, en consecuencia, puede ser blando, duro, muy duro, quebradizo, tenaz, etc. El método no solo se utiliza para estudiar la estructura, sino que también es muy útil para determinar otras propiedades como las características específicas de una grieta o el tamaño, grosor y calidad de la interfaz de un revestimiento, etc.

Aceros: Los hierros son prácticamente hierro puro ya sea de o con tan poca cantidad de carbono que no afecta a sus propiedades. Cuando aumenta el porcentaje de carbono, toma el nombre de acero, que se puede considerar con un contenido de carbono entre 0,1 y 2%. Sin embargo, en algunos aceros especiales el carbono es lo más bajo posible y entran otros elementos para conferir propiedades específicas. Entre el 1,5 y el 2% del carbono son productos ferrosos que rara vez se utilizan debido a su alta fragilidad. Finalmente, con más del 2 por ciento tienes fundiciones.

En metalografía, lo que se estudia especialmente es la distribución de los microconstituyentes, por lo que nos referimos a la naturaleza de la aleación; También es posible analizar la mayor o menor capacidad de un acero para ser tratado térmicamente, que se deriva principalmente de la enorme solubilidad del carbono en hierro gamma o austenita.

Rayos X (Radiografía): Los rayos X son ondas electromagnéticas con una longitud de onda muy corta que se generan cuando los electrones de alta velocidad chocan con la materia. Los rayos gamma emitidos espontáneamente por átomos radiactivos en descomposición son de la misma naturaleza. Tenga en cuenta la posición de estos rayos en el espectro electromagnético.

Ensayo de Ultrasonido: Existen varias técnicas de examen por ultrasonido; El más utilizado, llamado Pulso eco, consiste en enviar una onda sonora de alta frecuencia y medir el tiempo que tarda el sonido en llegar al defecto del reflector. Dado que estos tiempos son muy cortos, se utiliza una pantalla osciloscópica para medirlos; el dispositivo introduce una serie de ondas en el material y deja de enviar, esperando el retorno y, con tiempo medio, está listo para volver a enviar un tren de ondas; la frecuencia de estos impulsos está entre 60 y 2000 por segundo.

Ensayo de Partículas magnéticas: Consiste en magnetizar las piezas de tal forma que cualquier fisura o defecto provoque la fuga del flujo magnético; Al aplicar partículas con propiedades magnéticas, se acumularán en estas áreas y mostrarán la presencia de defectos. Idealmente, las líneas de flujo magnético cruzan las grietas verticalmente, porque al estar orientadas en la misma dirección, la prueba pierde sensibilidad. Si solo se buscan grietas con una orientación, una sola magnetización es suficiente, pero si se sospechan grietas con varias orientaciones y son de interés, es necesaria una doble magnetización para que la segunda revele los defectos inexistentes, visiblemente por su Orientación, con la primera.

Ensayo de Líquidos penetrantes: El método se puede describir en términos de una secuencia de operaciones a realizar, cuyos detalles se discutirán más adelante. El primero es limpiar la pieza en los lugares de posibles defectos; sigue la penetración del líquido indicador, para lo cual se requiere un cierto tiempo; En algunos procedimientos, antes de retirar el exceso de penetrante, es necesario aplicar un emulsionante, que permite la limpieza posterior con agua; Luego se la limpieza del líquido que no ha penetrado en las grietas, seguido de la aplicación de un revelador que extrae el líquido de las grietas, y finalmente la inspección.

Deformación y Recristalización: Cuando un metal o una aleación con estructura de grano equiaxial se deforma por debajo de una determinada temperatura, que se definirá más adelante, y

experimenta un gran cambio de propiedades. Cuando este material se calienta por encima de esta temperatura, se crean nuevos granos pequeños equiaxiales y, a medida que se calienta más, estos granos aumentan de tamaño mientras recuperan las propiedades perdidas durante el trabajo en frío.

Precipitación: El endurecimiento o envejecimiento por precipitación, como también se le llama, junto con la recristalización son dos fenómenos prácticamente universales en los metales utilizados como tratamientos térmicos y son los únicos métodos para que la gran mayoría de ellos mejoren sus propiedades y cómo se verá más adelante que existen una gran cantidad de aleaciones útiles con esta capacidad para mejorar sus propiedades.

Tipos de tratamientos térmicos:

Normalizado, es un tratamiento térmico que se les da a los aceros para darle las características necesarias para que de esta manera considerarlos “normales”. Es utilizado para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas y también sirve para afinar su estructura, mejorar la maquinabilidad y a la vez eliminar tensiones que se forman a la hora de la solidificación. Un tratamiento como este lleva a cabo una temperatura alta, seguida también de un enfriamiento al ambiente. La finalidad de este tratamiento es aumentar la dureza del acero. (Becerra, Aguilar, Bernardino, y Santana, 2021).

Tratamiento normalizado, Este tipo de procedimiento es similar al tratamiento de templado, pero en este caso se ocupan temperaturas mayores a 37.77°C al momento del revenido final, es de los procesos más sencillos en cuanto a realización (Becerra, Aguilar, Bernardino, y Santana, 2021).

Según Apraiz(2016), el normalizado, es uno de los tratamientos térmicos más fáciles de realizar. Se usa igualmente para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas y se usa para refinar la estructura y eliminar las tensiones que normalmente ocurren durante la solidificación, forja u otras

operaciones posteriores. Como su nombre indica, los aceros se tratan con este tratamiento para que conserven los componentes y propiedades que pueden considerarse normales o típicas de su composición. Se lleva a cabo no solo después de la forja o laminación, sino también después de un cierto sobrecalentamiento o enfriamiento en malas condiciones y siempre que se vayan a destruir los efectos del calentamiento o tratamiento previo. Consiste en calentar los aceros a una temperatura superior a la crítica Ac_3 o $Accm$ para que pasen al estado austenítico y dejar luego enfriar las piezas al aire tranquilo. En el normalizado, la velocidad del enfriamiento es más lenta que en el temple y más rápida que en el recocido. Es un tratamiento típico de los aceros al carbono de construcción de 0,15 a 0,40% de C y rara vez se emplea en los aceros de herramientas, ni en los aleados de construcción.

Para Forero(2010), La martensita es un producto de alta dureza, pero muy quebradizo, por lo que solo debe utilizarse como intermedio en el proceso de dar a las piezas las propiedades correctas; La textura del endurecido da como resultado fuerzas internas muy altas en las piezas, es decir, una tendencia muy alta a romperse, por lo que el revenido debe realizarse inmediatamente después del endurecido. El propósito general del revenido es; reducir la fragilidad, reducir o eliminar tensiones internas, estabilizar dimensiones, convertir completamente a bainita o martensita y establecer la dureza final de la pieza; La rigidez adecuada para que una pieza sea dura en su servicio, en elementos y herramientas comunes, se establece mediante normas o, en su defecto, debe ser determinada por el ingeniero, buscando el compromiso entre dureza última y tenacidad.

El recocido se puede utilizar para eliminar totalmente el endurecimiento que es causada por la deformación que el material consigue durante el proceso de trabajo en frío; este componente final será blando y dúctil.

Este proceso consiste en calentar el material a altas temperaturas hasta el punto de austenización ($800^{\circ}C$ - $950^{\circ}C$ dependiendo del material) seguido de un enfriamiento más lento. El

trabajo se realiza en vacío o en una atmósfera reductora si se quiere un acabado brillante, al aire para elementos que requieran una mecanización posterior o en una atmósfera neutra donde no habrá descarburación, aunque el acabado no será brillante. Esta variación facilita el mecanizado, da estabilidad dimensional y se produce una mejora en las propiedades mecánicas y eléctricas del material.

Si calentamos una pieza de acero al carbono 0.35% a 900° y la dejamos enfriar lentamente en el horno, luego la pulimos y la atacamos con una solución alcohólica de ácido nítrico al 3% durante diez segundos, podemos, con la ayuda del microscopio, crear una estructura de cristales blancos y negros (Apraiz, 2016).

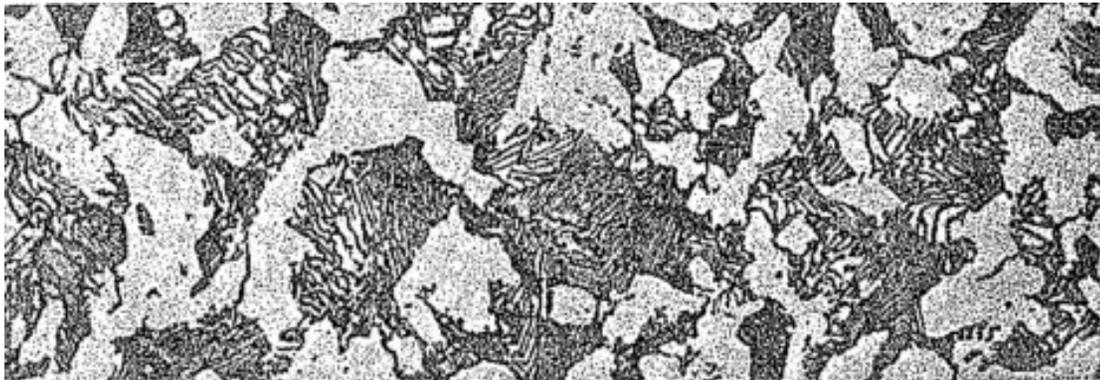


Figura 15. Cristales de ferrita y perlita en un acero de 0,35% de carbono recocido.
Fuente Elaboración y Formulación: (Apraiz, 2016)

Los cristales blancos son ferrita y los cristales negros son perlita. Si hacemos lo mismo con un acero al carbono 1,10%, veremos cristales negros perfilados por una rejilla blanca. Los cristales negros son perlita y el enrejado blanco es cementita.

La ferrita, la cementita y la perlita, que son los componentes característicos de los aceros recocidos, son claramente visibles bajo examen microscópico, incluso con un aumento reducido (Apraiz, 2016).

La ferrita. es hierro alfa o hierro casi puro, que en solución puede contener pequeñas cantidades de silicio, fósforo y otras impurezas. En aceros aleados, suelen formar una solución sólida con ferrita o hierro alfa, níquel, manganeso, cobre, silicio, aluminio, etc.

Cristaliza, en el sistema cubico de cuerpo centrado por lo que el cubo elemental está formado por átomos ubicados en las esquinas y uno en el centro. Tiene una resistencia de aproximadamente 28 kg / mm², 35% alargamiento y una dureza de 90 unidades Brinell. Es el más blando de todos los componentes de acero, muy dúctil y maleable. Fuerza coercitiva magnética y pequeña. Los reactivos habituales, ácido nítrico (1, 3 y 5%), ácido pícrico y reactivo de Benedicks no lo colorean y solo enfatizan la unión de los granos en forma de líneas negras en aceros con muy bajo contenido en carbono, lisos e irregulares. Un ataque prolongado sombreará ligeramente los cristales, revelando sus diferentes orientaciones. A menudo, las impurezas también conducen a un color desigual de los cristales.

Cementita. La cementita es carburo de hierro, CFe₃, contiene 6,67% de carbono y 93,33% de hierro. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, su dureza es superior a 68 Rockwell-C y cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño (4,5 * 5 * 6,7 Å).

No mancha con los reactivos de uso común (soluciones alcohólicas de ácido nítrico y pícrico, etc.), apareciendo de un color blanco brillante siempre que el acero es atacado con reactivos ácidos. Está coloreado solo por picrato de sodio caliente y ataques oxidativos en el aire. Dada su gran dureza, permanece en relieve después del pulido, y el contorno de los granos o láminas se puede conocer perfectamente por el sombreado que aparece con iluminación oblicua (Apraiz, 2016).

Perlita. Es un constituyente eutectoide formado por capas alternadas de hierro alfa y carburo de hierro CFe_3 , o lo que es lo mismo, de ferrita y cementita.

Es de composición química constante y definida y contiene aproximadamente seis partes de hierro y una de carburo, que corresponden a 13,5% de CFe_3 y 86,5% de Fe y a 0,9% de C y 99,1% de Fe. Tiene una resistencia de 80 Km/mm^2 y un alargamiento de 15% aproximadamente. (Apraiz, 2016).

La perlita generalmente aparece en el enfriamiento lento de la austenita o por transformación isotérmica de la austenita en el área de 650° a 725° . La ferrita y la cementita que componen la perlita aparecen formando láminas paralelas y alternas que tienen reflejos marcados, por lo que Sorby, en 1864, le dio el nombre de constituyente perlítico, (Apraiz, 2016)

Austenita. Es una solución sólida de carbono o carburo de hierro en hierro gamma. Puede contener de 0 a 1,7% de carbono y, por tanto, es un componente de composición variable. Todos los aceros están formados por cristales de austenita cuando se llevan a temperaturas superiores a las críticas (Ac_3 o Accm). Aunque generalmente es un constituyente inestable, esta estructura se puede lograr a temperatura ambiente templando aceros con alto contenido de carbono o muy aleados. (Apraiz, 2016)

Martensita. es el componente típico de los aceros templados y revenido. Se supone que se forma a partir de una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en hierro alfa, y se obtiene por enfriamiento rápido de aceros a alta temperatura. Su contenido de carbono varía generalmente desde pequeñas tazas hasta 1% de C y, a veces, es incluso mayor en aceros hipereutectoides. (Apraiz, 2016)

Sus propiedades físicas varían con su composición y aumentan su dureza, resistencia y fragilidad con el contenido de carbono hasta un máximo de aproximadamente $C = 0,90\%$. Después de los carburos y la cementita, es el componente más duro de los aceros. Tiene una resistencia de 170 a 250 kg / mm², una dureza de 50 a 68 Rockwell-C y un alargamiento del 2,5% a 0,5% (Apraiz, 2016).

Troostita. Es un agregado extremadamente fino de cementita y de hierro alfa. Se produce por enfriamiento de la austenita a velocidad ligeramente inferior a la crítica de temple, o por transformación isotérmica de la austenita a temperaturas de 500° a 600° aproximadamente según sea la composición de los aceros. Aparece en los aceros enfriados desde el estado austenítico a velocidades ligeramente inferiores a las de temple y en el corazón de grandes piezas templadas en agua, y de otras pequeñas templadas en aceite (Apraiz, 2016).

Sorbita. Es un agregado fino de cementita y hierro alfa. Se obtiene enfriando la austenita a una velocidad muy por debajo del enfriamiento crítico o por transformación isotérmica de la austenita en el área de aproximadamente 600° a 650°. Su resistencia es de 88 a 140 Kg/mm²; su dureza de 250 a 400 Brinell y su alargamiento es de 10 a 20%. Es el constituyente de máxima resiliencia de los aceros (Apraiz, 2016).

El ensayo más utilizado para la toma de dureza en la empresa Aceros Chilca SAC es el Brinell.

Anexo P. Tipos de ensayos de dureza.

Ensayo Brinell. Consiste en aplicar una bola de acero muy duro sobre una superficie plana y lisa del material a ensayar y presionarlo gradualmente y mantener la presión durante un tiempo determinado, de forma que se cree una impresión en forma de casquete esférico, figura 17.

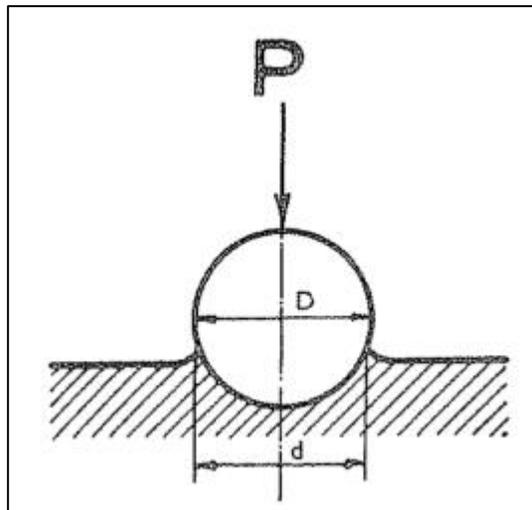


Figura 16. Ensayo de Brinell

Fuente Elaboración y Formulación: (Apraiz, 2016)

A continuación, se mide el diámetro de la huella dactilar con un pequeño microscopio de mano y se determina la dureza Brinell dividiendo la carga que ha actuado sobre la bola a través de la superficie de la huella dactilar. Esta área se calcula en función del diámetro de la huella creada. Para mayor comodidad, existen tablas indicando la dureza que corresponde a cada uno de los diferentes diámetros de los raíles a partir de 2 mm. hasta 6 mm.

La dureza de Brinell se calcula de la siguiente fórmula:

$$H = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

En la que H es la dureza Brinell; P el peso (en kg) aplicado; S la superficie (en mm²) del casquete esférico; D el diámetro de la bola (en mm), y del diámetro del casquete esférico (en mm), ver la figura 18.

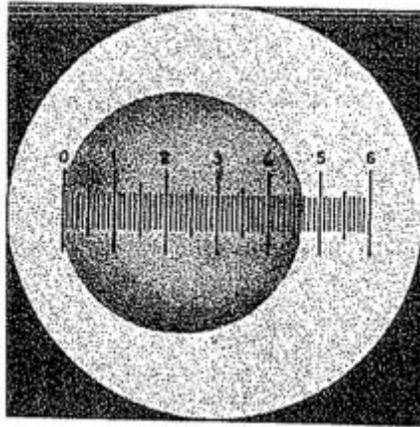


Figura 17. Diámetro del casquete esférico
Fuente Elaboración y Formulación: (Apraiz, 2016)

Ensayo Rockwell: A pesar del descubrimiento de Brinell, durante bastante tiempo se continuo sin poder medir industrialmente la dureza de los aceros templados de gran dureza, pues aquel ensayo, que es el más práctico para los hierros y aceros semiduros, no tuvo el mismo éxito para medir la dureza de los aceros templados. (Apraiz, 2016, pág. 494).

El ensayo Rockwell se basa, como el Brinell, en la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados por un cuerpo más duro, pero se diferencia de aquel en que en el ensayo Brinell se determina la dureza en función de la superficie de la huella y en el Rockwell en función de la profundidad de penetración. (Apraiz, 2016, pág. 495)

La aplicación de la carga grande se hace a continuación de la pequeña sin mover la pieza de la máquina. Para piezas templadas y duras se emplea como cuerpo penetrador un cono de diamante tallado con un ángulo de 120°, con la punta ligeramente esférica, con un radio de 1/64 y las durezas obtenidas se denominan Rockwell-C. (Apraiz, 2016, pág. 495) ver figura 18.

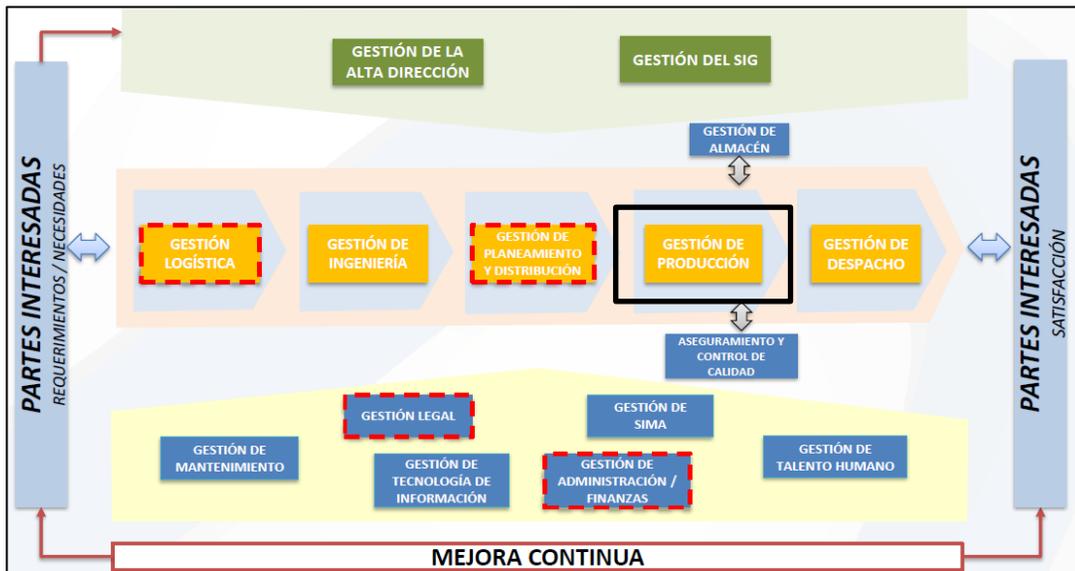


Figura 18. Mapa de procesos de direccionamiento de estratégico, elaboración propia.
Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

La empresa cuenta con clientes estratégico del sector Minero, para el diagnóstico del presente estudio se toma como ejemplo la fabricación de Forros uno de los productos que tiene mayor rotación. El proceso productivo de fabricación de las piezas empieza con el orden de ventas, los cuales se detallan en la figura 19.

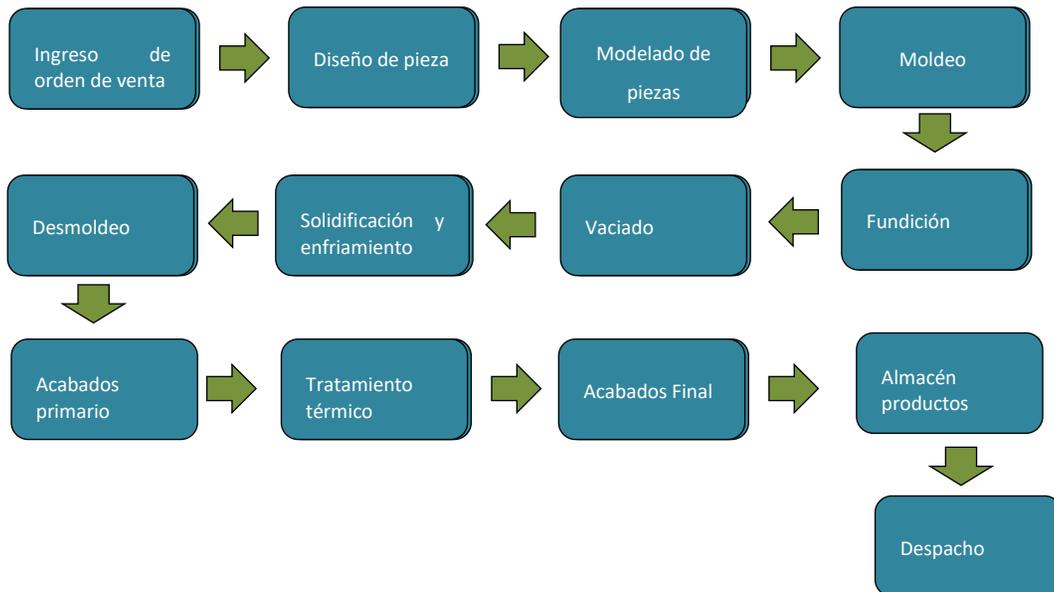


Figura 19. Proceso productivo de piezas de acero.
Fuente Elaboración y Formulación: Propia

Anexo Q. Definición de procesos de Aceros Chilca (Mepsa).

La empresa se dedica básicamente a la producción de piezas fundidas, bolas laminadas y forjadas. Si bien ambos productos tienen demanda similar, la utilidad por la demanda de las piezas es mayor al de las bolas. La producción es por proyecto, la fabricación de las piezas depende de las órdenes de compra. El procesamiento de las piezas fundidas tiene un flujo similar, pero algunas de estas van a requerir pasar por el maquinado y/o soldadura.

Para el presente proyecto nos enfocamos en los Forros, ya que, según la experiencia de los ingenieros de planta, esta pieza debería tomar como máximo 1 mes para cerrar una orden de 300 piezas, mientras que el tiempo real es de 40 a 45 días hábiles, por tal motivo realizaremos un estudio de estas piezas, ver tabla 9.

Tabla 10. Diagrama SIPOC de la fabricación de los Forros.

SUMINISTROS	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTE
Área de ventas Área de Planeamiento Proveedor de insumos para moldeo	Ingreso de la orden Programa de producción Manguitos-Cerámicos Resinas y catalizadores Modelo Arena Hoja Técnica de moldeo	- Ingreso del pedido - Planificación de recursos - Diseño de Pieza - Moldeo - Fundición - Vaciado - Desmoldeo - Acabado Primario - Tratamiento Térmico - Acabado final - Despacho	- Piezas de acero (Forros) - Bolas de acero - Merma (chatarra) - Certificado de calidad - Cierre de orden de pedido.	M ineras
Área de Ingeniería Área de calidad Proveedor de chatarra	Especificaciones del cliente Chatarra			

Fuente Elaboración y Formulación: propia.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS FAMILIAS: FORROS (METAL AC-4H) Y FORROS EN ALTO CROMO (METAL AM-2E).

Ingreso de orden de venta. Generadas por el área de ventas, previo acuerdo con el cliente, posteriormente se deriva las órdenes al área de ingeniería para el diseño de las piezas.

Diseño de pieza. El área de ingeniería se encarga de realizar, revisar y validar la hoja técnica de la pieza y la envía al área de producción.

Modelado de pieza. El área de modelado realiza el modelo de la pieza en madera, pero previamente verifica si la pieza ya tiene un molde usado en los almacenes, caso contrario se fabrica uno nuevo.

Moldeo. Para realizar el moldeo de las piezas, se llena las cajas con arena para dar la forma de la pieza a fabricar (en este caso los forros), luego se pinta el molde para evitar que el acero se pegue en el molde al realizar el vaciado, luego se unen ambas cajas y se trasladan al área de vaciado. Actualmente esta actividad sigue la estrategia FIFO, pues se programa de acuerdo con las órdenes que ingresan, adicional a ello, se aplica la metodología Kanban, en donde se colocan tarjetas de identificación a cada molde especificando la aleación y la fecha en que ha sido moldeado, ver en la figura 21.



Figura 20. Proceso de moldeo.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Vaciado. Previo al vaciado, se debe tener el material fundido, para lo cual se hace uso de hornos de fundición, el tiempo de vaciado, depende del tipo de pieza a realizar, oscilando entre 1 a 5 min. El vaciado al ser una actividad dependiente de moldeo también se hace por FIFO, esto debido a que las piezas no pueden estar más de 5 días sin fundirse luego del vaciado, de otra manera se deberán desechar estos moldes. Los operarios se guían de las tarjetas Kanban para identificar aquellos moldes que cuentan con más días de moldeo, ver en la figura 22.



Figura 21. Proceso de Vaciado.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Solidificación y Enfriamiento. La solidificación y enfriamiento de las piezas es una etapa crítica, ya que un enfriamiento rápido puede provocar tensiones mecánicas en la pieza y la aparición de grietas, y si es demasiado lento afecta directamente en la productividad de todo el proceso. El enfriamiento se da de forma natural a temperatura ambiente y suele durar 4 días antes de desmoldar, dependiendo del tipo de pieza que se fabrica y de la aleación que se use, ver en la figura 23.



Figura 22. Proceso de Enfriamiento.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Desmoldeo. Para el desmolde de las piezas, se procede a separar las piezas de las cajas de moldeo para lo cual se usa las grúas puente, para luego nuevamente pasar por una etapa de acondicionamiento térmico a temperatura ambiente antes de ingresar al área de ACP (acabado primario). Para esta operación no se cuenta con la estrategia FIFO, pero los operarios si se guían de las tarjetas Kanban para comprobar si ya cuenta con los días de enfriamiento suficientes, si se desmolda la pieza antes de tiempo, esta será considerada como merma, ver en la figura 24.



Figura 23. Proceso de Desmoldeo

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

ACP (Acabado primario). En este proceso, se retiran las mazarotas, tubos de desfogue y canales de alimentación que se generaron en el proceso de vaciado, para el retiro de estas, se usa una pistola de aire comprimido y con una comba. Tampoco se cuenta con una programación o estrategia que indique al operario que pieza deberá trabajar primero, esto ocasiona retrasos en las entregas de las órdenes, ver siguiente figura 25.



Figura 24. Proceso de Acabados Primario.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Tratamiento Térmico (TT), ver figura 18, para el TT se introducen las piezas en el horno y se aplica el tratamiento según la programación de Planeamiento y Control de producción - PCP. El tratamiento térmico dependerá de las propiedades del material y su estructura, las cuales varían a diferentes temperaturas y tipo de aleación. El tratamiento térmico puede endurecer, ablandar o modificar la estructura cristalina o modificar total o parcialmente las características mecánicas del material. Luego de salir del horno la pieza se enfría luego se realiza la prueba de dureza, para comprobar que cumpla las especificaciones detalladas en la hoja técnica establecida por ingeniería, pues son requerimientos del cliente. En caso de no tener la dureza correcta, deberá pasar nuevamente por TT. También se utiliza First In First Out - FIFO para esta operación, se toma en cuenta las primeras piezas que van llegando al proceso sin importar el tonelaje. Ver hoja de ruta, anexo F.

A continuación, se detalla el proceso de Tratamiento Térmico de Forros, ver la figura 26

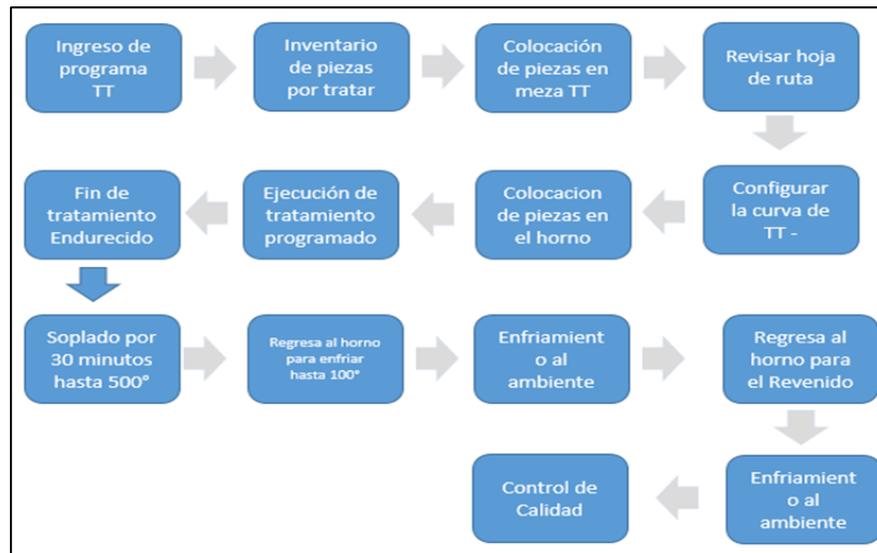


Figura 25. Diagrama de bloques de TT

Fuente Elaboración y Formulación: Propia



Figura 26. Proceso tratamiento térmico y soplado

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

ACF (Acabado Final). En el acabado final, se trabaja sobre la pieza según la hoja técnica, reduciendo medidas, verificando los agujeros y un pulido final. Se trabaja bajo un programa por fechas de entrega al APT (Almacén de productos terminados), el supervisor del área tiene un indicador de cumplimiento de entrega de órdenes, ver figura 28.



Figura 27. Proceso acabado final.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Despacho. En esta área se realiza los embalajes correspondientes, así como el pintado de la pieza según requerimiento del cliente. Los despachos se realizan siempre y cuando la orden se encuentre completa, ya que los clientes lo solicitan así, ver figura 29.



Figura 28. Proceso tratamiento pintado y embalaje.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

Control de Calidad.

La empresa cuenta con un área de control de calidad para realizar los análisis fisicoquímicos de las piezas, estos análisis se hacen en base a los requerimientos técnicos del cliente. Los ensayos que se realizan de manera recurrente en las piezas fundidas son los siguientes:

- **Prueba de dureza.** Realizado en las piezas antes y después de entrar a tratamiento térmico. Se realiza antes para aquellas piezas que pasarán por un pre maquinado. En caso de tener mucha dureza, pasarán por el tratamiento de revenido, en caso de ser muy baja, deberán pasar por todos los tratamientos respectivos de cada aleación.

- **Toma de dureza.** En este proceso el personal de acabados esmerila la pieza en los puntos indicados en la hoja de ruta, luego el personal de calidad procede a tomar la dureza (golpea con un martillo el probador dureza Brinell en la zona esmerilada) y de acuerdo al resultado que se obtenga esta puede seguir su proceso de pre maquinado, maquinado y acabados final, o reingresar a los hornos de tratamiento térmico por reproceso, cuando las piezas se encuentra fuera de los rangos establecidos en la hoja de ruta se procede a levantar un RNC (Reporte de No Conformidad) siendo el instrumento de la técnica antes mencionada creado por el área de Calidad, en este reporte se registran toda la información de la pieza (número de documento, cliente, descripción, código de pieza, aleación, trazabilidad, cantidad de piezas, código de la tabla y los resultados obtenidos. Esta información es almacenada por el auxiliar de calidad en la base de datos registro de durezas, ver figura 30.



Figura 29. Proceso de toma de dureza.

Fuente Elaboración y Formulación: Aceros Chilca SAC.

- **Prueba de Dimensión.**

En esta prueba se hace uso de plantillas metálicas (prototipos) para confirmar si las piezas cumplen con las medidas establecidas en la hoja técnica, en caso de no ser así, se deberá trabajar, ya sea en bancos o en maquinado, hasta lograr las medidas correctas

- **Prueba de Líquidos Penetrantes y de Partículas Magnéticas**

Se utilizan para detectar irregularidades, fisuras, porosidad en las piezas. Si se detecta una de estas fallas, se trabajará sobre ellas, hasta desaparecer la falla, si la pieza presenta una fisura profunda, se registrará como chatarra.

Anexo R. Facturación por Piezas y clientes de Enero a Setiembre 2021.
Tabla 11. *Facturación por Piezas y clientes de Enero a Setiembre 2021*

CLIENTES	FACTURACIÓN		% DEL TOTAL
	TOTAL US\$		
Hudbay-Constancia	\$	5,465,384.00	28.11
Cerro Verde	\$	3,212,979.64	16.52
SPCC - Consignación (2021)	\$	1,874,961.00	9.64
Antamina	\$	1,086,676.50	5.59
FLS Serbia	\$	827,135.38	4.25
SPCC – Directas	\$	781,922.00	4.02
Yanacocha	\$	767,563.00	3.95
FLSmidth Chile	\$	562,025.78	2.89
FLS – Chuquicamata	\$	462,760.00	2.38
Tega Industries	\$	444,271.77	2.28
FLS - Magino Gold	\$	404,412.00	2.08
Metso Columbia	\$	383,650.00	1.97
SPCC - Consignación (2020)	\$	355,566.00	1.83
Gold Fields	\$	311,817.11	1.60
Metso Phoenix	\$	307,904.00	1.58
Minera Panamá	\$	284,734.00	1.46
FLSmidth	\$	278,890.00	1.43
Metso USA	\$	252,748.00	1.30
Thyssen	\$	238,290.00	1.23
Chinalco	\$	237,228.00	1.22
Old Castle	\$	148,544.00	0.76
Riley Power	\$	139,704.00	0.72
El Brocal	\$	106,150.00	0.55
Moservin	\$	88,079.00	0.45

Shougang	\$	73,302.00	0.38
Wood Group	\$	66,190.00	0.34
Agromin	\$	57,584.00	0.30
Lincuna	\$	53,110.00	0.27
Inergies	\$	46,685.00	0.24
Cormei	\$	42,450.00	0.22
Marsa	\$	24,298.00	0.12
Doe Run	\$	14,963.00	0.08
Metso Central	\$	11,745.00	0.06
Metso Suecia	\$	10,178.00	0.05
Retamas	\$	9,150.00	0.05
Minera Jerusalem	\$	4,204.00	0.02
Metso Canadá	\$	4,150.00	0.02
Volcan	\$	2,210.00	0.01
TOTALES	\$	19,443,614.18	100.00

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

Hudbay y Cerro Verde juntos representan el 44.63% de la facturación en el periodo de enero a setiembre del 2021, lo que nos indica que son los clientes con mayor representación en la empresa, siendo el 28.11% y 16.52% cada uno respectivamente.

Así mismo se detalla la producción de piezas por estos dos clientes más representativos por el tipo de metal y sus durezas de tratamiento térmico, ver tabla 12.

Anexo S. Total, de Piezas producidas por tipo de metal y rango de dureza de enero - Setiembre 2021

Tabla 12

Total de Piezas producidas por tipo de metal y rango de dureza de enero - Setiembre 2021

CLIENTE/DUREZA BHN	METAL	LIBERADA	NO LIBERADA	TOTAL
Hudbay		1162	51	1213
321 - 375	AC-4H	355	25	380
635 - 742	AM-2	101	17	118
283 - 353	AC-2E	236	5	241
351 - 421	AC-4H	149	4	153
132 - 232	AA-14	3	-	3
351 - 462	AC-4	318	-	318
Cerro Verde		643	87	730
622 - 673	AM-2E	168	51	219
600 - 650	AM-2E	25	32	57
330 - 440	AC-4E	450	4	454
TOTALES		1805	138	1943

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

Cliente Hudbay lidera la producción de órdenes de piezas con 1213 unidades, con 5 tipos de metales cada uno con su requerimiento de dureza, en tanto Cerro Verde tiene 730 unidades de órdenes de piezas con 3 tipos de metales cada uno con su requisito de dureza.

Anexo T. Resultados de otros rangos de dureza.

Objetivo específico 1.

La figura 24 representa el registro de las durezas de un lote de 57 piezas de acero, esta se resume en la siguiente tabla de frecuencias de cada medición de durezas, se presenta los hallazgos:

Tabla 13

Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 600-650 BHN de un lote de 57 piezas fundidas.

DUREZAS_R_600-650	FRECUENCIAS		
728	1	629	1
691	1	629	2
684	3	628	1
673	3	626	3
669	2	623	1
662	2	622	1
661	1	619	1
658	4	615	1
654	2	612	1
651	10	609	1
650	5	596	1
647	5	588	1
643	1	469	1
633	1	TOTALES	57

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

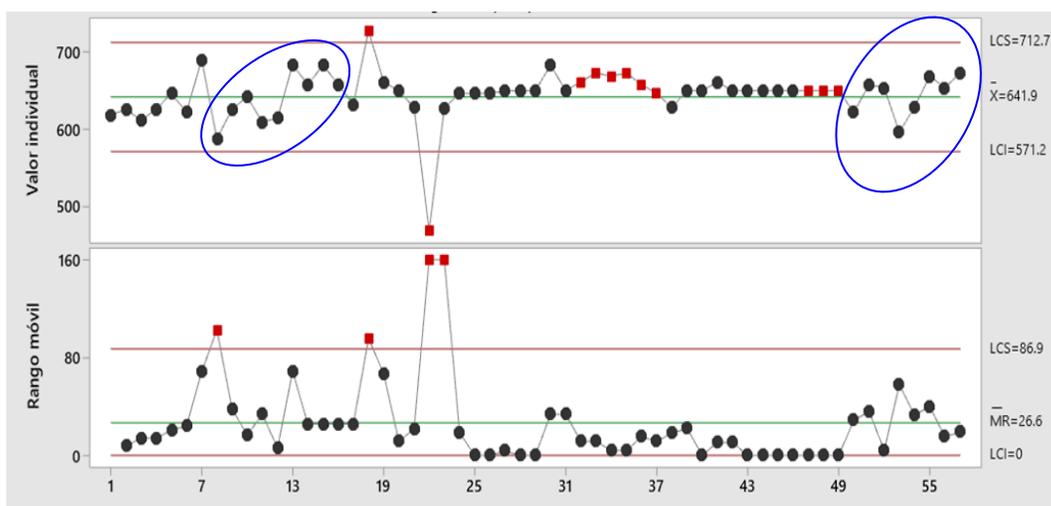


Figura 30. Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 600-650 BHN del metal A-2E

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

De acuerdo con la tabla 13 y la figura 31 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 600-650 BHN del cliente Cerro Verde, la carta de control individual presenta 2 puntos fuera de los límites de control lo que es una señal de que el proceso es inestable presenta un patrón cíclico en dos grupos de mediciones que se atribuye a causas comunes (Tiempos de soplado de acuerdo a la hoja de ruta) que son parte del proceso de TT, así mismo el gráfico de rangos móviles presenta mucha variabilidad lo que indica que el proceso está fuera de control.

A continuación, se presenta los resultados de las mediciones del cliente Hudbay para el cual se estudió al tipo de metal AC-4H (familia de aceros cromo molibdeno) con rango de dureza Brinell tales como 321-375 BHN (Media: 348 BHN), cabe recalcar que el análisis se hizo en un lote de 112 piezas respectivamente.

Tabla 14

Frecuencias de mediciones de dureza Brinell de rango 321-375 BHN lote. de 112 pieza fundidas

<u>DUREZAS R_ 321-375 FRECUENCIAS</u>			
		343	1
425	1	342	1
400	1	342	2
383	1	340	1
374	1	340	2
372	2	339	1
371	1	338	5
370	1	338	1
369	3	337	1
365	1	337	1
364	2	337	3
362	1	336	4
361	1	335	4
361	1	335	3
359	1	333	1
358	1	333	1
357	1	332	3
354	4	331	6
351	6	330	2
350	1	328	4
350	4	326	6
348	2	325	3
348	3	324	1
347	1	323	5
347	1	321	3
346	2	TOTALES	112
345	3		

Fuente Elaboración y Formulación: Propia

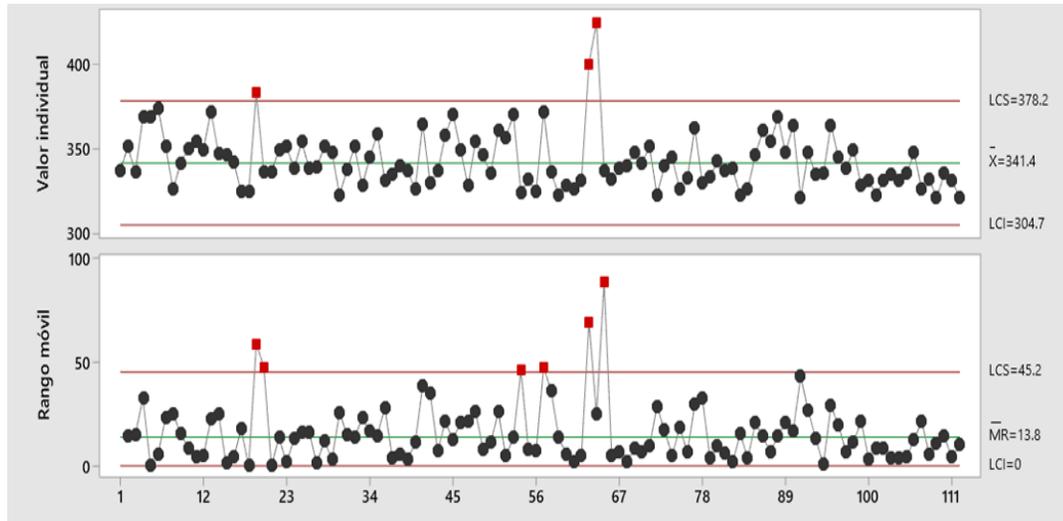


Figura 31. Gráfica de control individual y rangos móviles de durezas 321-375 BHN del metal AC-4H

Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

De acuerdo con la tabla 14 y la figura 32 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 321-375 BHN del cliente Hudbay, la carta de control individual presenta un patrón de mezcla en la mayor parte de las mediciones ya que los puntos se comportan de forma ascendente y descendente lo que indica que el proceso es inestable con respecto a la media, se atribuye a causas especiales (Ajustes innecesarios, diferencias en la composición química) que no son parte del proceso de TT (tratamiento térmico).

Objetivo específico 2.

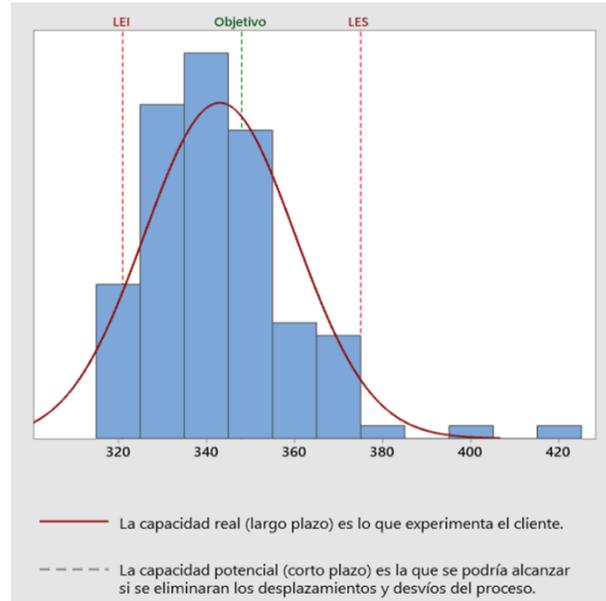


Figura 32. Capacidad potencial de proceso de durezas 321-375 BHN del metal AC-4H
Fuente Elaboración y Formulación: Propia.

De acuerdo con la tabla 14 y la figura 33 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 321-375 BHN del cliente Hudbay, se calcula el índice Cp de la siguiente manera.

$$C_p = \frac{ES - EI}{6DE}$$

$$C_p = \frac{375 - 321}{6 * 15.101}$$

$$C_p = 0.60$$

El resultado del índice de capacidad potencial de proceso es de 0.60 que de acuerdo con la tabla 2 mencionado en el capítulo I, pertenece a la categoría 4 que es un proceso no adecuado para el trabajo que necesita modificaciones muy serias, con un 7% fuera de las especificaciones del cliente, representando 71 860 unidades de piezas de partes por millón (PPM) no liberadas, ver anexo H la tabla de PPM de productos defectuosos

Objetivo específico 3.

De acuerdo con la tabla 14 y la figura 33 el proceso de tratamiento térmico de la pieza con rango de dureza de 321-375 BHN del cliente Hudbay, se calcula el índice Cpk de la siguiente manera.

$$Cpk = \text{Min de } (M - EI / 3DE; ES - M / 3DE)$$

$$Cpk = \text{Min de } (348 - 321 / 3 * 15.101; 375 - 348 / 3 * 15.101)$$

$$Cpk = \text{Min} = 0.58$$

El resultado del índice de capacidad real de proceso es de 0.58 que, de acuerdo con la interpretación, la media del proceso (343 BHN) está alejada del Target (348 BHN) del requerimiento del cliente, con un 3% fuera de la especificación superior del cliente, representando 35 930 unidades de piezas de partes por millón (PPM) no liberadas, ver anexo H de PPM de productos defectuosos.