



POSGRADOS

Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES** RPC-SO-30-No.506-2019

Opción de
titulación:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS
AVANZADAS

T E M A :

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LA METODOLOGÍA
SIX SIGMA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL
PROCESO DE ANODIZADO DE PERFILES DE ALUMINIO EN LA
EMPRESA CEDAL DURÁN S.A.

A U T O R :

DIEGO FERNANDO MESTANZA BARRAGÁN

D I R E C T O R :

TANIA CATALINA ROJAS PÁRRAGA

Guayaquil - Ecuador
2022

DATOS CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Autor/a:



Diego Fernando Mestanza Barragán
Ingeniero Químico
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales
dmestanzab@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Ing. Tania Catalina Rojas Párraga
Ingeniera Industrial
Magíster en Gestión de la Productividad y la Calidad
Docente de la Universidad Politécnica Salesiana
trojas@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda Prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

GUAYAQUIL - ECUADOR - SUDAMÉRICA

MESTANZA BARRAGÁN DIEGO FERNANDO

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL PROCESO DE ANODIZADO DE PERFILES DE ALUMINIO EN LA EMPRESA CEDAL DURÁN S.A

RESUMEN

La industria se esfuerza por vender y crecer en el mercado, la necesidad de innovar, desarrollar nuevos productos, replicar productos de excelente calidad, acorde a las necesidades de los clientes, en medio de incertidumbre causada por crisis económica, social y política, genera dificultades en los procesos, provocando productos de baja calidad, elevada cantidad de rechazo, baja productividad, desencadenando altos costos e incumplimiento con los clientes.

Seis Sigma es una metodología de calidad de clase mundial que se puede aplicar para ofrecer productos y servicios que aseguran la calidad, controlan el costo y el tiempo de entrega, parámetros de éxito de cualquier cadena de suministro. Por sus siglas en inglés DMAIC, es la metodología central en Six Sigma, esta metodología sistemática y rigurosa procede mediante 5 fases, las cuales se describen como: definir el problema y el objetivo del proyecto, medir la línea base del proceso, analizar y validar las causas identificando factores críticos, mejorar (improve) implementar soluciones y controlar las soluciones en el tiempo.

La empresa Cedal Durán dentro de sus líneas de proceso posee una planta de anodizado, cuya principal actividad es la producción de perfiles de aluminio anodizado; el proceso consiste principalmente en la formación de la capa de óxido de aluminio sobre la superficie del perfil. Los parámetros necesarios para anodizar aluminio son: concentración de ácido sulfúrico (g/l), corriente eléctrica (A), temperatura (°C) y tiempo (min).

La investigación tiene el interés de reducir la variabilidad en el producto y en el proceso de anodizado de perfiles de aluminio de la empresa Cedal Durán, aplicando herramientas de la metodología Seis Sigma, la misma que es una metodología encaminada a eliminar la variabilidad, mejorar la calidad, el coste y el tiempo de ciclo de cualquier tipo de proceso, producto o servicio.

ABSTRACT

The industry strives to sell and grow in the market, the need to innovate, develop new products, replicate excellent quality products, according to customer needs, in the midst of uncertainty caused by economic, social and political crisis, generates difficulties in the processes, causing low-quality products, high reject rate, low productivity, triggering high costs and non-compliance with customers

Six Sigma is a world-class quality methodology that can be applied to offer products and services that ensure quality, control cost and delivery time, success parameters of any supply chain.

For its acronym in English DMAIC, is the central methodology in Six Sigma, this systematic and rigorous methodology proceeds through 5 phases, which are described as: define the problem and the objective of the project, measure the baseline of the process, analyze and validate the causes by identifying critical factors, improve (improve) implement solutions and control the solutions over time.

The company Cedal Durán, within its process lines, has an anodizing plant, whose main activity is the production of anodized aluminum profiles; the process consists mainly in the formation of the aluminum oxide layer on the surface of the profile. The necessary parameters to anodize aluminum are concentration of sulfuric acid (g/l), electric current (A), temperature (°C) and time (min).

The research has the interest of reducing the conversion in the product and in the process of anodizing aluminum profiles of the company Cedal Durán, applying tools of the Six Sigma methodology, the same one that is a methodology aimed at eliminating the use, improving the quality, cost and cycle time of any type of process, product or service.

DEDICATORIA

Dedicado aquellos seres que inspiran por siempre, a mi Madre que desde el cielo guía mi camino, a mis abuelitos que anhelaron ver a su familia viviendo días mejores, a mi hijo quien nació en el transcurso de esta etapa académica y llegó a cambiar mi vida, que algún día sirva como ejemplo de sacrificio y perseverancia.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y la oportunidad de continuar y alcanzar sueños, a mi amada esposa por su amor incondicional y por sacrificar tiempo valioso de nuestra familia para apoyarme en todo momento, a mi hijo por ser mi inspiración en la vida. Agradecer de todo corazón a mis tíos, tías, primos que siempre están presentes apoyándome en cada decisión y han sido el soporte para avanzar en esta etapa académica.

Un agradecimiento especial a la Universidad Politécnica Salesiana por generar alternativas de formación académica que están a la vanguardia de las necesidades actuales, a los directivos y docentes que con su trabajo logran cambios trascendentales en la sociedad, a mi directora de Tesis Ing. Tania Rojas por su acompañamiento y paciencia durante el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación problemática.....	3
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos:	7
1.4.1 Objetivo General	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
2.1 Historia del Seis Sigma	8
2.2 Metodología y Herramientas.....	10
2.3 Descripción del Proceso de Anodizado de perfiles de Aluminio.	26
CAPÍTULO 3.....	29
MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	29
3.1 Tipo, diseño y nivel de investigación	29
3.2 Tipo de investigación.....	29
3.3 Método de investigación	30

3.4 Determinación de la muestra.....	35
CAPÍTULO 4.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados	38
4.1.1 Desarrollo de la etapa definir (DMAIC).....	38
4.1.1.2 Carta del proyecto	38
4.1.1.3 Voz del cliente Y Ctg's.....	39
4.1.1.4 Costo de mala calidad	40
4.1.1.5 Medir Y Mapear.....	41
4.1.1.5.2 Análisis del sistema de medición R&R.....	41
4.1.1.5.3 Plan de recolección de datos (Muestreo)	42
4.1.1.5.4 Gráfico de prueba de normalidad de datos de espesor de capa anódica de enero a junio del 2021	43
4.1.1.5.5 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021.....	43
4.1.1.5.6 Gráfico de capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021	45
4.1.1.5.7 Gráfico de nivel sigma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021	46
4.1.1.5.8 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada de enero a junio del 2021	47
4.1.1.5.9 Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a junio del 2021.....	49
4.1.1.6.0 Histograma de temperaturas del proceso de anodizado de enero a junio del 2021.....	50
4.1.1.6.1 Histograma de consumo de corriente (amperios) del proceso de anodizado de enero a junio del 2021	51
4.1.1.6.2 Histograma de tiempos de proceso de anodizado de perfiles de aluminio de enero a junio del 2021	52
4.1.2 Desarrollo de la etapa analizar	53
4.1.2.1 Gráfico comparativo de espesor de capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada vs. espesor de capa de óxido de aluminio medido por personal de control de	

calidad de enero a junio del 2021	53
4.1.2.2 Diagrama de Pareto ponderado para analizar defectos de anodizado relacionados con la capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021	54
4.1.2.3 Prueba de hipótesis	55
4.1.2.4 Diagramas de lluvia de ideas	56
4.1.2.5 Diagrama de causa – efecto (Diagrama de Ishikawa).....	61
4.1.2.6 ¿Análisis cinco por qué?	64
4.1.3 Desarrollo de la etapa mejorar	70
4.1.3.1 Gráfico de prueba de normalidad de datos de espesor de capa anódica de enero a marzo del 2022.....	72
4.1.3.2 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022...	72
4.1.3.3 Gráfico comparativo de espesor de Capa de óxido en la etapa inicial enero a junio 2021 vs. espesor de capa de óxido de aluminio en la etapa de mejorar de enero a abril del 2022	73
4.1.3.4 Gráfico comparativo de espesor de capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada vs. espesor de capa de óxido de aluminio medido por personal de control de calidad de enero a abril 2022 en la etapa de mejora	75
4.1.3.5 Gráfico de capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022.....	76
4.1.3.6 Gráfico de nivel sigma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022.....	78
4.1.4 Desarrollo de la etapa controlar	79
4.1.3.7 Gráfico de control estadístico de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022.....	79
4.1.3.8 Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a abril 2022 etapa controlar	80
4.1.3.9 Histograma de corriente media del proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa controlar	81
4.1.3.9 Histograma de temperatura de proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa controlar	82
4.1.3.10 Histograma de tiempo de proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa	

controlar	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES.....	89

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Project Charter	38
Tabla 2. Costo de mala calidad	40
Tabla 3 Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad del espesor de capa anódica	56
Tabla 4. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable concentración de ácido Sulfúrico.....	57
Tabla 5. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable temperatura del proceso de anodizado	58
Tabla 6 Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable corriente del proceso de anodizado	59
Tabla 7. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable tiempo del proceso de anodizado	60
Tabla 8. 5 ¿por qué? Método – causa 1 (falta de calibración de equipos) – efecto (variación de espesor de capa anódica).....	67
Tabla 9. 5 ¿Por qué? Máquinas causa 2 (falta de homogenización - efecto (variación de espesor de capa anódica).....	68
Tabla 10.- 5 ¿Por qué? Máquinas causa 3 (falla de máquina) – efecto (variación de espesor de capa anódica).....	69
Tabla 11.- 5 ¿Por qué? Máquinas causa 1(falta de dosificación por temperatura alta) – efecto (variación de concentración de ácido sulfúrico).....	70
Tabla 12.- 5 Por qué? método causa 2 (forma de dosificar no adecuada) – efecto (variación de concentración de ácido sulfúrico).....	71

Tabla 13.- 5 ¿Por qué? Máquina causa 1 (falta de capacidad del chiller) – efecto (variación de temperatura del proceso de anodizado).....	72
Tabla 14.- 5 ¿Por qué? Máquina causa 1(descalibración frecuente de equipos) – efecto (variación de corriente eléctrica).....	73
Tabla 15.- 5 Por qué? Máquina causa 1(falla de grúas) – efecto (variación de tiempo de anodizado).....	73
Tabla 16.- 5 ¿Por qué? Método causa 2 (proceso lento obliga hacer trabajos en manual) – efecto (variación de tiempo de anodizado).....	74

FIGURAS

Figura 1. Niveles de desempeño en sigma.....	9
Figura 2. Ciclo de Deming.....	9
Figura 3. Esquema de metodología DMAIC	10
Figura 4. Modelo kano.....	13
Figura 5. Diagrama de correlación.....	24
Figura 6. Control estadístico de procesos	25
Figura 7. Diagrama de flujo de proceso de anodizado de perfiles de aluminio	27
Figura 8.- Hoja de trabajo de programa minitab	32
Figura 9.- Diseño de la investigación.....	34
Figura 10.- Proceso para efectuar análisis estadístico.....	36
Figura 11. Voz del Cliente interno.....	39
Figura 12. Requerimientos del cliente interno para perfiles de aluminio anodizado.....	39
Figura 13. Mapa de proceso de anodizado de perfiles de aluminio	41
Figura 14. Prueba de normalidad espesor de capa anódica.....	43
Figura 15. Histograma espesor de capa anódica acabado Bronce Oscuro (04) de enero a junio del 2021	44
Figura 16. Capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021.....	45
Figura 17. Nivel sigma para espesor de capa anódica de enero a junio del 2021	47
Figura 18. Histograma espesor de capa anódica acabado bronce oscuro (04) registrados por el sistema scada de enero a junio del 2021	48
Figura 19. Histograma de concentración de ácido sulfúrico del proceso de anodizado de enero a junio del 2021	49

Figura 20. Histograma de temperaturas del proceso de Anodizado de enero a junio del 2021	50
Figura 21. Histograma de consumo de amperios para el acabado bronce oscuro 04 de enero a junio del 2021	51
Figura 22. Histograma de tiempos del proceso de anodizado de perfiles de aluminio de enero a junio del 2021	52
Figura 23. Histograma espesor de capa anódica acabado bronce oscuro (04) registrados por el sistema scada Vs espesor de capa anódica medido por personal de control de calidad de enero a junio del 2021	53
Figura 24. Diagrama de Pareto ponderado de defectos de anodizado con influencia directa de la capa anódica de enero a junio del 2021	54
Figura 25. Prueba de hipótesis	55
Figura 26. Diagrama de causa efecto para variación de espesor de capa anódica	61
Figura 27. Diagrama de causa efecto para variación de concentración de ácido sulfúrico	62
Figura 28. Diagrama de causa efecto para variación de temperatura del proceso de anodizado.	62
Figura 29. Diagrama de causa efecto para variación de la variable corriente eléctrica del proceso de anodizado.	63
Figura 30. Diagrama de causa efecto para variación de la variable tiempo de anodizado.	63
Figura 31. Prueba de normalidad espesor de capa anódica de enero a abril 2022	72
Figura 32. Histograma espesor de capa anódica de enero a abril del 2022	73
Figura 33. Histograma de espesor de capa anódica etapa mejorar de enero a abril 2022 vs espesor de capa anódica inicial de enero a junio del 2021	74
Figura 34. Histograma de espesor de capa anódica de enero a abril 2022 etapa mejorar vs	

espesor de capa anódica sistema scada de enero a abril 2022.	76
Figura 35. Capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril de 2022.....	77
Figura 36. Nivel sigma espesor de capa anódica de enero a abril del 2022.....	78
Figura 37. Control estadístico de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio después de implementación de mejoras enero a abril 2022.....	79
Figura 38. Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a abril del 2022	80
Figura 39. Histograma de corriente media del proceso de anodizado de enero a abril 2022	81
Figura 40. Histograma de temperatura de proceso de anodizado de enero a abril 2022....	82
Figura 41. Histograma de tiempo de proceso de anodizado de enero a abril 2022	83

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, se constituyó en 1974, empresa de capital ecuatoriano, destinada a la fabricación y comercialización de extrusiones de aluminio para el mercado nacional e internacional. Inicia sus actividades productivas en el año 1976, enfocados al mercado interno con extrusiones de aluminio para uso arquitectónico, desde sus inicios hasta la fecha la empresa CEDAL S.A ha permanecido en constante desarrollo e innovación, con importantes inversiones en lo productivo y comercial expandiéndose en el mercado inteligentemente con una misión clara y visión a largo plazo, considerando valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo como el primer valor corporativo. Es así como en 1992 se constituye el grupo "Corporación Empresarial S.A. CORPESA", holding que agrupa unidades estratégicas de negocio integradas por: CEDAL, ESTRUSA, VITRAL (Colombia), TRANSALUMINIO y COLECSIS.

En el año 2012 CEDAL realiza la expansión de su capacidad productiva e inicia la planificación, organización y ejecución de la inversión en una nueva planta extrusora de aluminio y una planta de anodizado de perfiles. La fábrica se construyó en las instalaciones que mantiene el grupo en Durán, Provincia del Guayas, dentro de un terreno de 65.000m², creando un centro de distribución a nivel nacional, inicia operaciones en noviembre del 2014 tomando el nombre de Cedal Durán. Es así como la organización se consolida en el país como una empresa sólida, generadora de empleo, con capacidad productiva para responder a las exigencias del mercado nacional e internacional.

El proceso de anodizado de aluminio conocido como oxidación anódica es un proceso electroquímico que se realiza para crear una capa de óxido sobre la superficie del aluminio. Esta

capa de óxido es más de cien veces superior con respecto a la capa de óxido que se forma de modo natural. Se pueden obtener capas de óxido decorativo o técnicamente funcionales, esto depende del tipo de proceso que se utilice (Hufnagel, 1992, p. 740).

El nombre de anodizado proviene de la palabra ánodo, debido a que el material con el que se trabaja, el aluminio, hace la función de ánodo en el proceso electrolítico. La capa de óxido de aluminio que resulta del proceso de anodizado le proporciona al material una mayor resistencia a la abrasión, protección contra la corrosión, facilidad para pintar su superficie, prolongación de la vida útil, además permite obtener una gama de colores usando diferentes técnicas como tintes, sales y electro coloración (Alter, 2003)

En los procesos industriales, los productos que no cumplen con características esperadas se convierten en rechazos o reprocesos y que a la vez genera la necesidad de volver a intentar hasta obtener el producto y cumplir con el cliente, provocando una serie de efectos negativos en las compañías, consumiendo más recursos de lo necesario, incumpliendo planes de producción, afectado el lead time y por lo tanto no se cumpla con los clientes y en este caso es un ciclo interminable de fallas que destruyen la eficiencia y eficacia de un proceso productivo, afectando directamente a los costos de producción, generando desconfianza en los clientes entre otros factores generando pérdidas para la empresa. Los criterios actuales de administración de operaciones consideran que los defectos generados en un proceso no son gratuitos, unos los propician, otros los cometen y algunos los corrigen. Los defectos no desaparecen, pero pueden controlarse y minimizarse. Los criterios modernos de defectos están orientados a la prevención de defectos, a hacerlo bien desde la primera vez o a eliminar la causa (Ortega, 2017).

Al plantear la necesidad de mejorar, se parte del entendimiento de que la variación existente en todos los sistemas operativos es lo que establece la necesidad del análisis y control de calidad

(Adam & Ebert., 1991, p. 649), todo proceso productivo presenta variaciones en sus parámetros de proceso, las mismas que provocan desviaciones en las características del producto terminado, afectando la repetitividad y reproducibilidad de un producto, las variaciones de un proceso de producción provienen de diferentes fuentes que constituyen el sistema de producción, personas, materiales, maquinaria, equipos y métodos de trabajo (Adam & Ebert, 1991, p. 649).

El propósito de este trabajo es aplicar herramientas de la metodología DMAIC SIX SIGMA, que permita como objetivo principal disminuir la variabilidad del proceso de anodizado de perfiles de aluminio, es justamente que al momento de realizar este trabajo que se identifica los procesos de anodizado de la empresa Cedal Durán y se evidencia los problemas en el producto terminado y las posibles variaciones de los parámetros del proceso, la relación existente con la generación de rechazos y reprocesos y por lo tanto su efecto en la calidad y el costo de producción.

1.1 Situación problemática

Se plantea la necesidad de comprender los fuertes efectos que tienen los productos que no cumplen con características esperadas y que se convierten en rechazos o reprocesos y que a la vez genera la necesidad de volver a intentar hasta obtener el producto y poder cumplir con el cliente, hasta ese momento ya se ha invertido más recursos que el necesario, se ha dejado de hacer otro producto y quizás se esté afectado a otro cliente y en este caso es un ciclo interminable de fallas que destruyen la eficiencia y eficacia de un proceso productivo.

Al plantear el problema de las variaciones en el producto terminado y las variaciones de los parámetros de proceso (Gonzales, 2003) se da paso a usar herramientas altamente efectivas, como es la metodología DMAIC SIX SIGMA, esta herramienta desarrolla 5 etapas sistémicas (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), es justamente para diagnosticar y atacar este problema que al momento de realizar esta investigación en los procesos de anodizado de una empresa de

aluminio se podrá evidenciar las posibles variaciones de los parámetros del proceso. La planta de anodizado es una línea de proceso que consta de una serie de tanques dispuestos en orden para cumplir los procesos, como son: tratamiento superficial (desengrase, matizado, decapado), anodizado, coloración y sellado, para obtener un producto terminado, se debe armar cargas de perfiles, las mismas que de manera organizada y controlada deben cumplir estas etapas.

La característica medible en el producto anodizado es el espesor de capa de óxido de aluminio o capa anódica, las variables de operación de mayor influencia en la etapa de anodizado son concentración de la solución química, temperatura, densidad de corriente y tiempo de proceso (Vergara, 2010).

La compleja situación y que incrementa la problemática es que el producto tiene clientes cada vez más exigentes, por lo tanto las exigencias en la calidad del material son muy altas y en la mayoría de casos están enfocadas desde el aspecto visual y la homogeneidad del producto, esto ha hecho que durante algunos años de funcionamiento la empresa haya sido sometida a duros cambios, paralelo a situaciones propias del proceso se desata una variación de precios en las materias primas, se presenta una inestabilidad sociopolítica en el país y una crisis causada por pandemia a nivel mundial afectando el abastecimiento, la producción y teniendo fuertes impactos en la demanda.

Al disminuir las variaciones se pretende obtener una serie de beneficios, ya que se puede disminuir los costos, reprocesos, retrasos de órdenes de producción, incluso se puede mencionar un mejor uso de recursos beneficiando así la calidad y precio del producto.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo aplicar herramientas de la metodología six sigma para la disminución de la variabilidad del proceso de anodizado de perfiles de aluminio en la empresa Cedal Durán?

1.2.2 Problemas específicos

¿Es posible realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de anodizado de perfiles de aluminio para identificar las variaciones existentes en el proceso y en el producto terminado?

¿Es posible establecer las herramientas adecuadas de la metodología six sigma que se aplicaran para disminuir las variaciones de los parámetros del proceso de anodizado?

¿Se puede evaluar los resultados de la aplicación de las herramientas six sigma en el proceso de anodizado para evidenciar el comportamiento de las variaciones y cuantificar el beneficio?

1.3 Justificación

La industria se encuentra en una posición compleja en medio de un mundo globalizado y competitivo, en donde la empresa se esfuerza por captar clientes para vender sus productos y crecer en el mercado nacional e internacional. Debido a la innovación, desarrollo de productos, clientes cada vez más exigentes, los procesos no logran evolucionar para optimizar recursos y obtener productos de calidad para llevar a las empresas a niveles más competitivos, se generan dificultades en los procesos, provocando productos de baja calidad, con elevada cantidad de rechazo, baja productividad, desencadenando altos costos de producción, e incumplimientos con los clientes.

Este trabajo se realizará en la planta de anodizado, cuya principal actividad es la producción de perfiles de aluminio anodizado; el proceso consiste principalmente en la formación de la capa de óxido de aluminio sobre la superficie del perfil, la misma que brinda características especiales de protección y decoración al perfil de aluminio, según la norma europea Qualanod

para el aluminio anodizado, el grado de protección frente a la corrosión por picaduras del aluminio se incrementa con un aumento del espesor de la capa. Por tanto, la duración del producto depende en gran medida del espesor de la capa. No obstante, hay un gran gasto de energía asociado con las capas de gran espesor, por ello, no se recomienda el sobre anodizado (GT Especificaciones Pascale Bellot (2019)

La Investigación tiene el interés de reducir la variabilidad en el proceso de anodizado de perfiles de aluminio de la empresa Cedal Durán, aplicando herramientas de la metodología seis sigmas o six sigma, la misma que es una metodología encaminada a eliminar la variabilidad, mejorar la calidad, el coste y el tiempo de ciclo de cualquier tipo de proceso; producto o servicios. Es junto con el enfoque de mejora lean una de las metodologías más avanzadas para la mejora de procesos, El six sigma se encamina a mejorar simultáneamente la eficiencia y la eficacia y se convierte en una medida de satisfacción del cliente que está cercano a la perfección. (George, 2006)

Como lo define el autor Luis Socconini en su libro Lean Six Sigma green belt, el significado de Six Sigma como una filosofía de trabajo, significa la mejora continua de procesos y productos, mediante la aplicación de la metodología DMAIC; como métrica Six Sigma representa la manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación y como meta considera alcanzar un nivel de clase mundial al no producir productos o servicios defectuosos (Socconini, 2020, p. 19).

Seis sigma es un sistema complejo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios (Pande, 2002, p. 3). La metodología DMAIC debe ser utilizada en toda la organización para atacar proyectos de mejora que permitan solucionar problemas, esta metodología permite usar herramientas no estadísticas como diagramas de flujo, diagramas de causa efecto, AMEF, y herramientas estadísticas básicas y avanzadas como son diagramas de

Pareto, inferencia estadística, distribución de probabilidad, gráficos de control, diseño de experimentos, entre otras, la metodología DMAIC ordena la aplicación de estas para maximizar los resultados (González, 2003, Capítulo 2).

Para aplicar el seis sigma con el objetivo de mejorar los resultados de un producto o servicio ya existente, es necesario utilizar el método DMAIC, por sus siglas en inglés:

Define (definir), measure (medir), analyze (analizar), improve (mejorar), control (controlar) (Alaya & Quatrebarbes, s. f., p. 19).

Este trabajo es factible realizarlo ya que se cuenta con la autorización de la Empresa, se dispone del acceso al lugar donde se llevará a cabo la investigación, cuenta con la disponibilidad de recursos humanos y materiales.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo general

Aplicar herramientas de la metodología six sigma para la disminución de la variabilidad del proceso de anodizado de perfiles de aluminio en la empresa Cedal Durán S.A

1.4.2 Objetivos específicos

Realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de anodizado de perfiles de aluminio para identificar las variaciones existentes en el proceso y en el producto terminado.

Establecer las herramientas adecuadas de la metodología six sigma que se aplicaran para disminuir las variaciones de los parámetros del proceso de anodizado.

Evaluar los resultados de la aplicación de las herramientas six sigma en el proceso de anodizado para evidenciar el comportamiento de las variaciones y cuantificar el beneficio.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Historia del seis sigma

Seis sigma es una filosofía que inicia en los años ochenta como estrategia de mercado y de mejoramiento de la calidad en la empresa Motorola, donde Mikel Harry, promovió la evaluación y el análisis de la variación de los procesos, el objetivo principal fue reducir la variabilidad de los factores o variables críticas. Con el apoyo del director ejecutivo Bob Galvin se hizo énfasis en el análisis de la variación y en la mejora continua. El método Seis Sigma es considerado como una medida de desempeño de toda una organización (Herrera Acosta, 2021). Es un método de gestión de calidad, combinado con herramientas estadísticas, las mismas que son usadas para mejorar el desempeño de un proceso. (Martínez, 2013)

Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo. Seis Sigma es ante todo un programa gerencial que implica un cambio en la forma de operar y tomar decisiones. Por ello, la estrategia debe ser comprometida y apoyada desde los niveles altos de la dirección de la organización, empezando por el máximo líder. Esto es lo que hicieron Larry Bossidy (Allied Signal) y Jack Welch (GE), este último, quién dirigió durante 20 años a GE, narra en sus memorias (Welch, 2001, cap. 25) como inició seis sigmas en GE y algunas de las características de este programa gerencial (Gutiérrez 2013).

Seis Sigma se puede definir como una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso, como el objetivo de lograr casi la perfección a través de la metodología para mejorar el desempeño, también se enmarca como un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio (Lefcovich, 2009). En la figura 1 se observa el nivel de desempeño de los niveles Sigma expresados en una equivalencia en defectos por millón de oportunidades, donde se evidencia que mientras mayor es el nivel sigma menor es la equivalencia de defectos por millón de oportunidades.

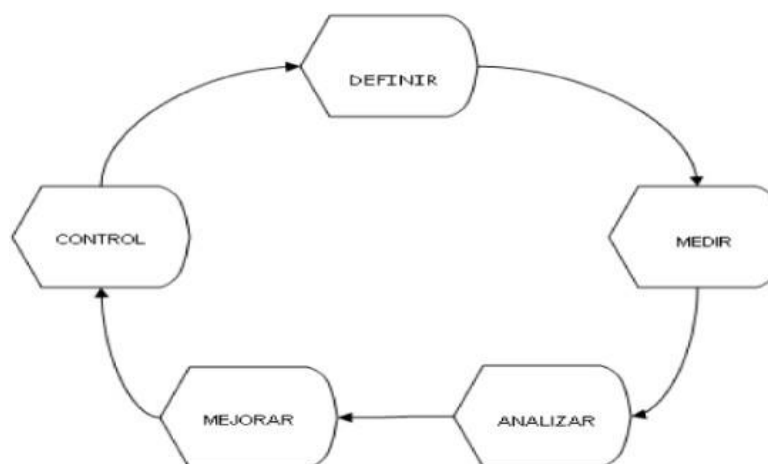
Figura 1. Niveles de desempeño en sigma

Nivel en sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3,40
5	233,00
4	6.210,00
3	66.807,00
2	308.537,00
1	690.000,00

Fuente: Seis Sigma “Hacia un nuevo paradigma en gestión”

De acuerdo con los autores Roberto José Herrera Acosta y Tomás José Fontalvo Herrera en su libro Seis Sigma un enfoque práctico, el método seis sigmas, conocido como DMAMC, se basa en el ciclo de calidad PDCA, propuesto por Deming y se puede observar en la figura 2 de la siguiente manera:

Figura 2. Ciclo de Deming



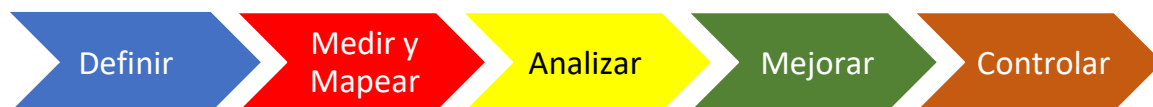
Fuente: Seis Sigma un enfoque práctico (Herrera Acosta, 2021.).

1. Definición del proceso.
2. Medición de la información suministrada por el proceso y los clientes de la organización.
3. Análisis de la información, en donde se aplica algunas herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.
4. Mejoramiento, etapa en la cual se proponen las soluciones de los problemas de la calidad planteados.
5. Control, el cual incluye los métodos estadísticos de seguimiento a las variables del proceso (Herrera 2011).

2.2 Metodología y herramientas

En la figura 3 se puede observar como se propone y como se debe establecer las herramientas de la metodología DMAIC

Figura 3. Esquema de metodología DMAIC



Elaborado por: El Autor

Etapa 1. Definir

En esta fase se debe identificar el problema, con lo que se puede seleccionar y documentar el proyecto, para lo cual es necesario designar los participantes y conseguir el apoyo de la dirección.

Definición de proyectos

La voz del cliente

Modelo de Kano

Árbol de necesidades

Despliegue de la función de calidad (QFD)

- **Definición de proyectos**

El propósito de definir es afinar claramente la situación actual y la comprensión que los responsables del proyecto tienen sobre el problema, quienes son los clientes, definir sus necesidades y expectativas (Herrera Acosta, 2021).

- **Carta del proyecto**

Es el documento donde se plasma los detalles de la definición del proyecto, la carta puede ser revisada y actualizada regularmente a medida que se disponga de nueva información, (Socconini & Escobedo, 2021). Los elementos de una carta del proyecto son:

Declaración del problema

Metas medibles

Caso de negocio

Alcance del proyecto

Roles, recursos

Programa, entregables

- **La voz del cliente**

Se requiere establecer claramente las necesidades del cliente, por lo tanto, la opinión del cliente ayuda a identificar qué características de calidad son las de su interés, las cuales puede convertirse en CTQ's (Socconini & Escobedo, 2021). La voz del cliente (VOC) o voice of de customer es una estrategia para aprender sobre los clientes a través de la recolección de datos. El enfoque al cliente es esencial en el éxito de cualquier negocio y el crecimiento de un negocio depende de la capacidad de satisfacer las expectativas de nuestros clientes (Socconini & Escobedo, 2021).

Para escuchar la voz del cliente (VOC), se puede utilizar diversos métodos enmarcados de la siguiente manera:

Planificación: Aquí es necesario decidir el alcance y los recursos que se dispone para contactar a los clientes, con lo cual se puede definir la cantidad de clientes que se deben contactar y la técnica que se utilizará.

- Entrevista
- Cuestionarios y encuestas
- Paneles (focus group)
- Expositores
- Quejas de clientes
- Investigación de mercado

Recolección de datos: procede una vez elegida la técnica, es necesario revisar la información para asegurarse que se está obteniendo la información que se requiere.

Análisis de datos y conclusiones: La información será útil con las conclusiones del análisis.(Socconini & Escobedo, 2021).

- **Critical to quality (CTQ)**

Es necesario traducir la voz del cliente en CTQ's, las mismas que debe ser susceptibles de medición, con lo cual se determina la situación actual y el nivel de desempeño al iniciar el proyecto six sigma. (Mayoral, 2022) Las CTQ's ayuda al equipo del proyecto a comprender la apariencia que tiene la calidad para el cliente, así como también validar que el proyecto está enfocado en cuestiones que son importantes para el cliente.

- **Modelo de kano**

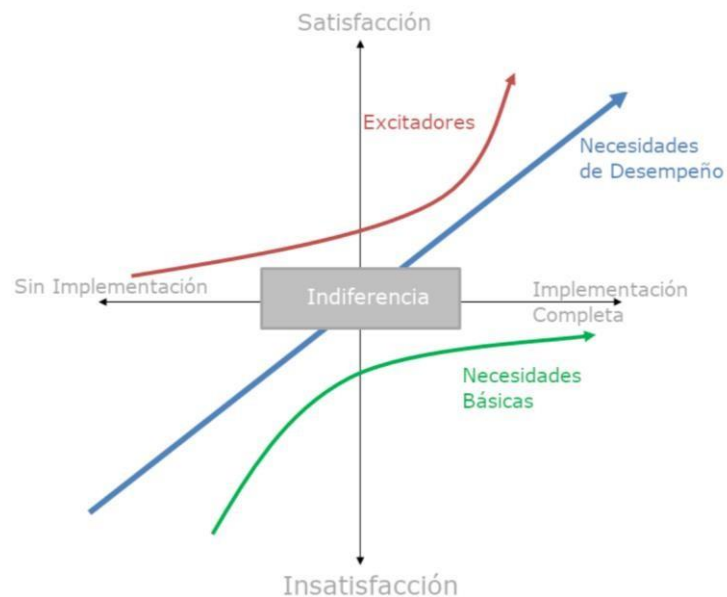
Desarrollado por Noriaki Kano, un profesor de la Universidad de Tokio, quien desarrollo una herramienta que se utiliza para priorizar las necesidades del cliente y determinar que atributos le aportan mayor satisfacción (Socconini & Escobedo, 2021). En la figura 4 se presenta el esquema metodológico del diagrama de KANO.

Se basa en dos dimensiones de la calidad:

Nivel de desempeño de un producto o servicio (bajo alto)

Nivel de satisfacción del usuario (bajo alto)

Figura 4. Modelo kano



Fuente: (González, 2007) (Modelo de Kano)

El modelo kano clasificó las necesidades del cliente en 4 categorías:

Necesidad básica. - Son los atributos mínimos que debe tener un producto o servicio, lo mínimo que se puede exigir. Lo que el cliente no pide, pero espera.

Necesidad de desempeño. - Son características que el cliente pide de manera explícita, lo que el cliente dice que necesita. Los atributos deseados influyen en la satisfacción del cliente.

Necesidad de emoción. - Son atributos del producto o servicio que el cliente no espera encontrar, estas características sorprenden al cliente.

Calidad indiferente. - Son atributos del producto o servicio que no se consideran ni buenos ni malos, por lo tanto, no afectan a la satisfacción o insatisfacción del cliente (*Modelo de Kano - Definición, qué es y concepto, 2017*).

Etapa 2. Medir y mapear

En esta etapa es importante describir y entender cada paso del proceso y obtener datos, posterior a esto se debe analizar los sistemas de medición y finalmente representar gráficamente para entender el comportamiento.

Mapa de procesos

Análisis del sistema de medición (R&R)

Estadística básica

Muestreo Histograma

Capacidad del proceso

Desempeño del proceso

- **Mapa de procesos (PMAP)**

Por sus siglas en inglés PMAP (process map), es una herramienta que permite documentar el flujo del proceso de manera gráfica, debe contener variables de entrada (X) y salidas (Y) de cada operación, aquí se puede describir las variables de entrada como de ruido, controlables, estándar y clave.

A medida que se elabora el mapa de proceso se puede entender a detalle el proceso, definir los factores de calidad (CTQ), definir el estado actual del proceso, identificar problemas potenciales y causa raíz y pensar en alternativas de solución (Socconini & Escobedo, 2021).

- **Análisis del sistema de medición**

Cuando ya se han definido las métricas en la carta de definición y previo a la obtención de datos, es necesario evaluar el sistema con el que se va a obtener los datos con el objetivo de asegurar la confiabilidad y consistencia de la información, (Socconini & Escobedo, 2021).

- **Repetibilidad y reproducibilidad**

Gage R&R es una de las herramientas para analizar los sistemas de medición, evalúa y analiza el sistema de medición en una línea de producción. Con esta herramienta se puede determinar si las mediciones son correctas de acuerdo con las especificaciones de la ingeniería del producto y si los datos del proyecto son confiables (Pacheco, 2021).

Repetibilidad

Es la variación en las mediciones obtenidas por una misma persona, utilizando el mismo instrumento de medición para medir características idénticas. La variación que analiza la repetibilidad es la que se debe al instrumento de medición (Pacheco, 2021).

Reproducibilidad

Es la variación en el promedio de todas las mediciones realizadas por diferentes personas utilizando el mismo instrumento de medición cuando se mide características idénticas en las mismas partes. Esta variación se tribuye a los operadores o al procedimiento de medición (Pacheco, 2021).

Una vez aprobados los sistemas de medición, se puede avanzar para obtener los datos, que para este caso es la parte más importante y constituye la base para la toma de decisiones en el proyecto six sigma (Pacheco, 2021).

- **Estadística básica**

La estadística es la rama de las matemáticas que recolecta, analiza, representa e interpreta datos numéricos (Pacheco, 2021). Se divide en estadística descriptiva y estadística inferencial.

Estadística descriptiva

Se encarga de recolectar, analizar y describir una población particular.

Estadística inferencial

Busca hacer deducciones basadas en un análisis, permite generar modelos, inferencias y predicciones (Pacheco, 2021).

Tipos de datos

Datos discretos: Son aquellos que se pueden contar, son números enteros.

Datos continuos: Son los que pueden medirse, pueden tomar cualquier valor dentro de una escala (Socconini & Escobedo, 2021).

Tipos de medidas:

- Localización o tendencia central.

Este tipo de medidas señalan la posición en la que los datos se concentran:

Media: Promedio aritmético, es la suma de los datos dividido entre el tamaño del subgrupo.

Mediana: Es el valor que ocupa el centro de todos los datos cuando estos están ordenados de menor a mayor.

Moda: Es el dato que más se repite.

- Medidas de dispersión

Rango: Diferencia entre el valor máximo y el mínimo de una muestra.

Desviación estándar: Es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable.

Varianza: Es la media de las desviaciones estándar al cuadrado, es una medida de dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética (Pacheco, 2021).

Histograma: Es un diagrama de barras que representa, a escala, el número de elementos que comprende cada una de las clases de una distribución de frecuencias (Pacheco, 2021).

Muestreo

El muestreo es la recopilación de una parte de los datos y su utilización para realizar conclusiones.

Muestra: Es una porción representativa de la población.

Tipos de muestreo:

Muestreo aleatorio: Permite una selección imparcial e independiente, es decir cada unidad tiene la misma oportunidad de ser seleccionada y no depende de ninguna otra unidad (Pacheco, 2021).

Muestreo sistemático: Inicia con una unidad al azar y luego se muestrea cada n unidades.

Muestreo estratificado: Se divide la población en estratos homogéneos y se selecciona aleatoriamente dentro de cada estrato.

Muestreo por conglomerados: Se divide a la población en subgrupos similares, con la particularidad que la variabilidad entre subgrupos es menor y la variabilidad dentro del subgrupo es mayor, esto con el fin de hacer que la variabilidad de cada subgrupo sea similar al de toda la población.

Estimación del tamaño de la muestra.

Para estimar la muestra es necesario elegir qué es lo que se desea analizar y considerar que el tamaño de la muestra implica temas entre precisión y costo, adicional está influenciada por los tipos de datos que se desea analizar, si son discretos o continuos (Socconini & Escobedo, 2021).

Estimación del tamaño de muestra para datos discretos:

Para este caso es necesario:

Tamaño de la muestra

Proporción estimada de la característica a medir para la población

Precisión de la estimación (rango en +/- que se tiene para la proporción estimada).

Nivel de confianza, generalmente entre 90 a 95%

$$n = \frac{(1 - p)}{\left(\frac{d}{z}\right)^2}$$

Donde:

p= proporción estimada de la característica a medir.

d= precisión

z= nivel de confianza

Ajuste para población finita:

$$\frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

Donde:

n = muestra calculada

N = población

Estimación del tamaño de muestra para datos continuos:

Para datos continuos es necesario:

Tamaño de la muestra.

Desviación estándar de la característica a medir

Precisión de la estimación.

Nivel de confianza

$$n = \left(\frac{2s}{d} \right)^2$$

Donde:

z = nivel de confianza

s = desviación estándar

d = precisión

Capacidad del proceso

Con estos indicadores se puede comparar la voz del proceso con la voz del cliente, es decir la variabilidad natural del proceso con las especificaciones del cliente.

Capacidad potencial: C_p o P_p

Capacidad real: C_{pk} o P_{pk}

Índice de capacidad potencial (C_p o P_p)

Este índice permite realizar una comparación entre los límites de especificación y los límites del proceso, sin tomar en cuenta la centralidad del mismo (Socconini & Escobedo, 2021).

$$Cp = \frac{a}{b} = LSE - \frac{LIE}{6}\zeta \quad \zeta = \sigma$$

índice de capacidad real (Cpk o Ppk)

Este índice considera la centralidad del proceso.

$$Cpk = X - LIE/3\zeta$$

$$Cpk = LSE - X/3\zeta$$

Nota: El cpk es el valor que resulte menor (incluyendo valores negativos)

Si $Cp > Cpk$, el proceso no está centrado en el objetivo.

Si $Cp = Cpk$, el proceso está centrado.

Si Cp o $Cpk < 1$, el proceso es incapaz

Si Cp o Cpk está entre 1 y 1.33, el proceso es apenas capaz.

Si Cp o Cpk son mayores que 1.33, el proceso es capaz.

Desempeño del proceso.

El desempeño del proceso consiste en medir indicadores para conocer cómo se encuentra el proceso.

Indicadores de efectividad

Este tipo de indicadores evalúa el cumplimiento y debe estar alineado a los objetivos estratégicos y a la satisfacción del cliente.

Indicadores de eficiencia

Los indicadores de eficiencia señalan la obtención de productos o servicios con la óptima utilización de los recursos.

Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

Six Sigma pretende acercarse a la perfección, se establece este indicador para medir unidades por millón de oportunidades. DPMO es una medida importante de six sigma ya que permite conocer el número de defectos observados por 1 millón de oportunidades (Socconini & Escobedo, 2021).

$$DPMO = \frac{\text{Defectos}}{\text{Unidades} * \text{Oportunidades}} * 1000000$$

Nivel sigma

Se puede obtener de acuerdo con el tipo de datos, si son atributos se calcula mediante el DPMO, si son variables se determina mediante el grado con que la variable cumple con las especificaciones.

Etapa 3. Analizar

El método DMAIC permite realizar el análisis de la información obtenida, siendo esta una etapa decisiva, es aquí donde se reconocen las causas que generan los problemas y principalmente las fuentes de variación (Socconini & Escobedo, 2021). Las herramientas recomendadas son las siguientes:

Diagrama de pescado (Diagrama de Ishikawa)

Diagrama de Pareto

Gráfico de cajas y bigotes (box plots)

Análisis multivariable

Pruebas de hipótesis e intervalos de confianza

Análisis de varianza (ANOVA)

Correlación

Diagrama de pescado (Diagrama de Ishikawa)

A través de una lluvia de ideas se puede listar de manera organizada las causas de un determinado efecto, de esta manera utilizar esta herramienta gráfica para separar los problemas y las posibles zonas de mejora. Es recomendable usar las 6 M (materiales, máquinas, mano de obra, ~~med~~ medición, medio ambiente) (Socconini & Escobedo, 2021).

El método de las 6M es el método enfocado en maximizar el proceso de producción, manteniendo el control y estricto orden las 6 áreas claves dentro del proceso, conjugado con el diagrama de causa y efecto se convierte en un método más eficiente y universal.

Diagrama de Pareto.

Es una gráfica de barras para datos ordenados en orden descendente respecto a su frecuencia. Se utiliza para visualizar que factores de una situación determinada son los más importantes y de esa manera atender con prioridad (Socconini & Escobedo, 2021).

El diagrama de Pareto está diseñado en función del principio de Pareto, donde señala pocos vitales y muchos triviales, es decir muchos problemas sin importancia frente a pocos muy importantes. Los pocos vitales se grafican a la izquierda y los muchos triviales hacia la derecha. Este tipo de diagrama permite estudiar fallas en la industria. La ley de Pareto establece que el 80% de las consecuencias están motivadas por el 20% de las causas (Delers, 2016)

Diagrama box plots (cajas y bigotes)

Se utilizan para comparar rápidamente dos o más distribuciones de variación de las mismas características. Los diagramas box plots permite observar dispersión de las distribuciones, centralidad y variabilidad de las distribuciones (Socconini & Escobedo, 2021).

Análisis multivariable

Es un procedimiento que permite mostrar gráficamente fuentes de variación más importantes de un proceso.

Se puede identificar algunos tipos de variación, como son, variación interna (variación de calidad a lo largo de la misma pieza), variación entre piezas (variación entre piezas, entre lotes o entre servicios), variación en el tiempo (variación entre piezas, entre lotes o entre servicios en periodos largos), variación de la fuente (variación por diferentes fuentes que elaboran el producto) (Socconini & Escobedo, 2021).

Pruebas de hipótesis e intervalos de confianza.

Las pruebas de hipótesis son un procedimiento estadístico que se utiliza para tomar una decisión, con base en la muestra considerando los valores de media, varianza, proporción, diferencia entre medias o proporciones o cocientes entre varianzas. Las pruebas de hipótesis muestran las variables significativas para finalmente ajustar el proceso y reducir la variación (Socconini & Escobedo, 2021).

Elementos de la prueba de hipótesis

Hipótesis (H_0 y H_a)

Muestra

Estadístico de prueba (EP)

Región de rechazo de H_0 (RR H_0), parte de la distribución de referencia en donde si el EP se encuentra ahí, se rechaza H_0 .

Decisión

Nivel de confianza (de la prueba $1-\alpha$)

Análisis de varianza

Es un método que consiste en descomponer la variación total de los datos en: variación interna o natural de los grupos y variación entre grupos; compara los dos tipos de variación y decide si existe o no diferencia entre las medias que se están analizando.

(Socconini & Escobedo, 2021).

Figura 5. Diagrama de correlación

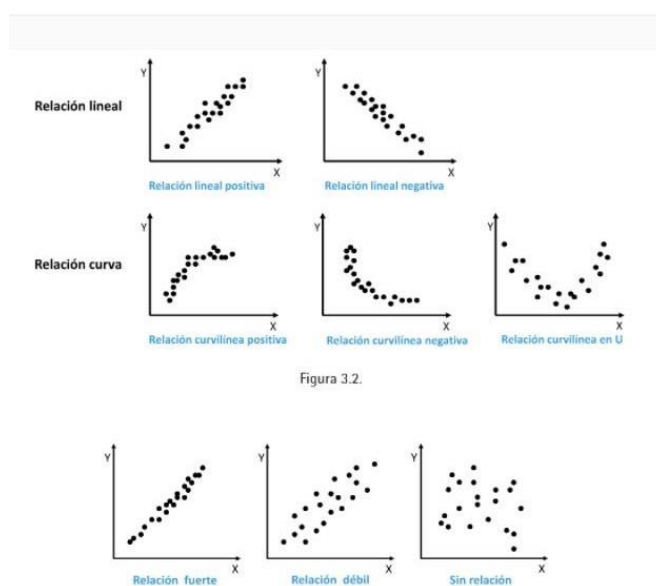


Figura 3.2.

Fuente: Gráfico de relación (Socconini & Escobedo, 2021)

Etapa 4. Mejorar

En esta etapa es importante robustecer el proceso, es decir direccionar los esfuerzos para disminuir o eliminar la causa raíz de los problemas. En esta fase se persiguen algunos objetivos como por ejemplo proponer nuevas condiciones en los procesos para optimizar su desempeño, establecer los beneficios asociados con la solución propuesta, investigar y resolver los potenciales modos de fallo para el nuevo proceso e implementar y validar las mejoras.

Diseño de experimentos DOE. - A través del diseño de experimentos se puede determinar cuál es la mejor combinación de factores y niveles que optimicen el proceso. El diseño de

experimentos es un conjunto de técnicas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo.

Etapa 5. Controlar

Mejorar continuamente, con un control riguroso dando seguimiento al proceso (Socconini, 2020).

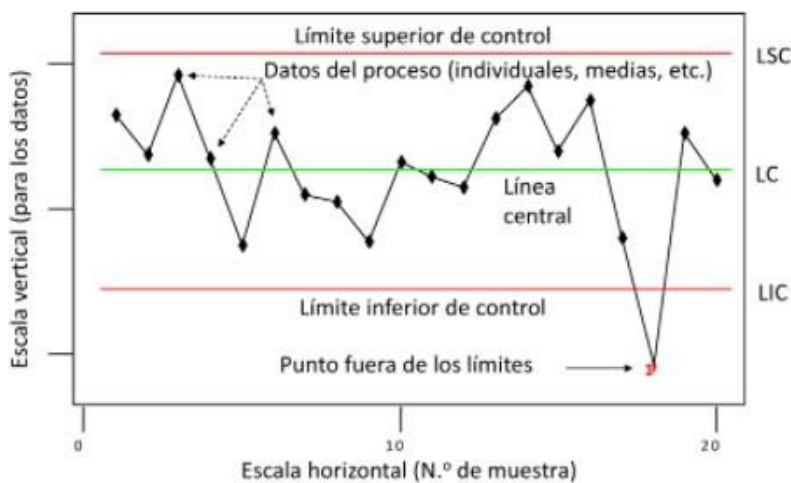
Control estadístico de procesos

Plan de control

Implementar las acciones necesarias para que los resultados se mantengan en el tiempo, es importante el montaje de sistemas adecuados de control para evitar que las personas y los procesos vuelvan a mostrar resultados que se observan en el pasado.

Una herramienta que permite implementar y estandarizar los nuevos métodos es el control estadístico de procesos, que se utiliza para vigilar que la variación se mantenga estable mediante un monitoreo constante del comportamiento de los parámetros del proceso (Socconini & Escobedo, 2021).

Figura 6. Control estadístico de procesos.



Fuente: Control estadístico de procesos (Socconini & Escobedo, 2021)

2.3 Descripción del proceso de anodizado de perfiles de aluminio.

El proceso de anodizado de perfiles de aluminio en la planta Cedal Durán, inicia una vez que se dispone de los perfiles extruidos y que dentro de la planificación de producción se disponen para ser anodizados. Una vez extruidos y liberados por personal de control de calidad los perfiles ubicados en canastas son trasladados hacia la zona de enraque, donde el personal dispone del material y procede a estructurar cargas de perfiles de aluminio, una vez terminada la carga con la información adecuada es registrada en un panel view para que sea cargada al sistema de control automático (scada). Desde el cuarto de control el ingeniero de procesos puede revisar la información y de acuerdo con el entendimiento del plan de producción organiza el material para ingresar a la línea a través de grúas automáticas. El proceso general consta de varias etapas, la primera consiste en preparar la superficie del material, se inicia con el desengrase, luego con un matizado ácido, posterior un decapado alcalino, luego una neutralización, hasta esta etapa el material adquiere un mejor aspecto visual, se disimulan defectos y se da un acabado homogéneo acorde a las exigencias de calidad establecidas.

Posterior a esto se continúa con la etapa de anodizado, es aquí donde se realiza el trabajo más importante del proceso ya que con la tecnología y los equipos necesarios se ingresa las cargas a cubas electrolíticas dónde se procede a formar la capa de óxido de aluminio en la superficie de los perfiles.

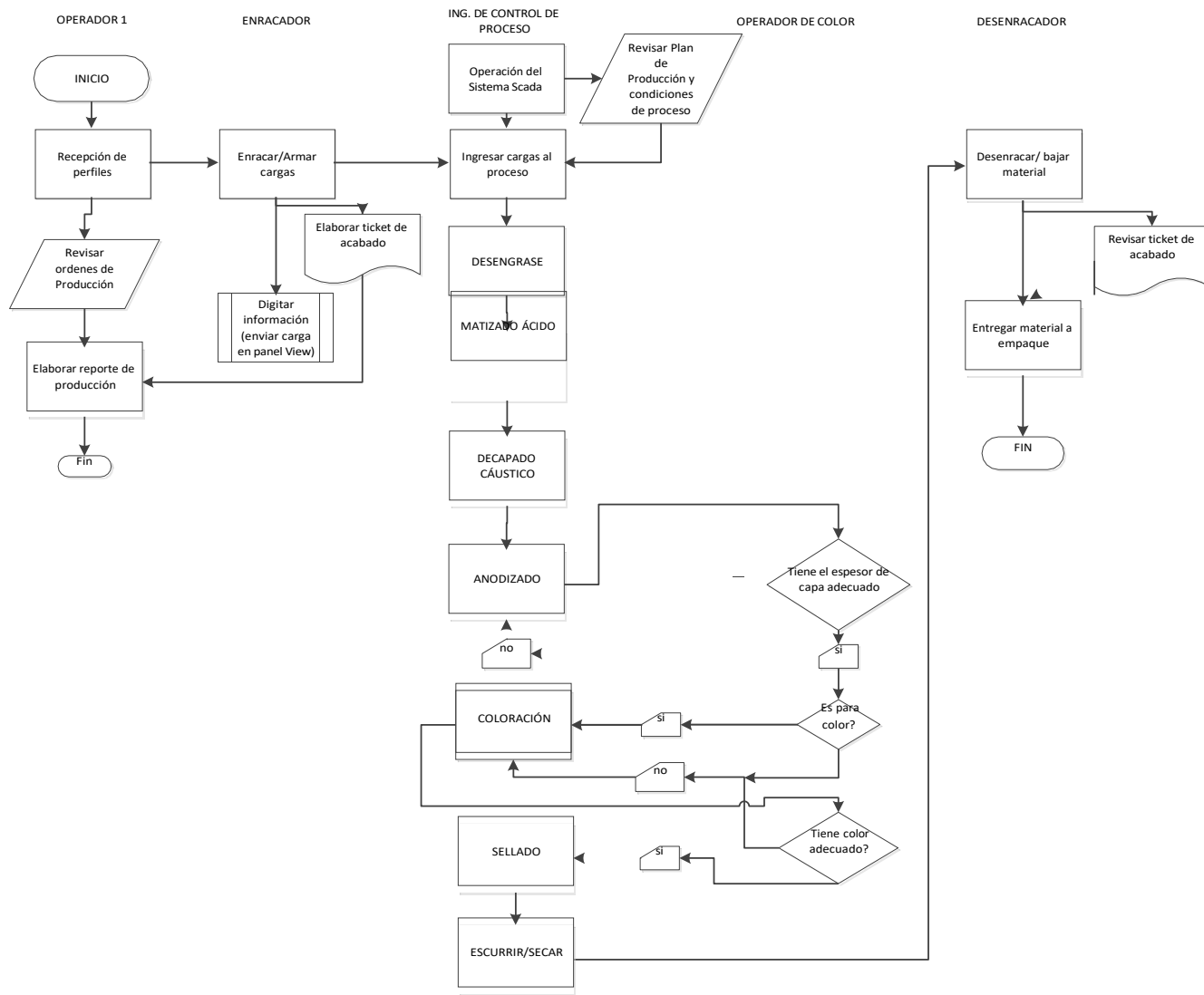
El proceso de anodizado en medio sulfúrico es un tratamiento superficial que consiste en formar una capa de óxido de aluminio de forma controlada a través del proceso electrolítico en el cual se hace pasar corriente continua a través de la superficie del material donde la carga de material se comporta como ánodo en medio del ácido sulfúrico. La capa de óxido de aluminio

posee características y propiedades que le dan al material resistencia y durabilidad, otra de las bondades que posee el anodizado es que la capa anódica posee una estructura porosa, lo que nos permite obtener una gama de colores a través de procesos de electro coloración.

La siguiente etapa es la coloración la misma que se lleva a cabo una vez obtenida la capa de óxido de aluminio, para este tratamiento es necesario sumergir la carga de aluminio en un tanque con una solución de sulfato de estaño bajo parámetros establecidos por la organización de concentración, acidez, temperatura, tiempo y condiciones eléctricas.

La etapa final es el sellado, la misma que se realiza para proteger el color depositado dentro de la capa de óxido de aluminio y a su vez permite proteger la capa de óxido de aluminio, para realizar este procedimiento se sumerge la carga en un tanque con cierta sustancia química para este caso acetato de níquel bajo condiciones establecidas por la organización para llegar a cumplir con especificaciones de calidad de sellado, finalmente se dispone de un material listo el cual debe ser descargado y ubicado en coches para que sea inspeccionado y liberado por personal de control de calidad y finalmente empacado y listo para entregar al cliente.

Figura 7. Diagrama de flujo de proceso de anodizado de perfiles de aluminio



Elaborado por: El Autor

CAPÍTULO 3

Métodos y técnicas de investigación

3.1 Tipo, diseño y nivel de investigación

Para el alcance de esta investigación y la resolución del problema se realizará un análisis descriptivo, debido a que el investigador busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de los fenómenos que se analizan, es decir permite conocer y analizar los procesos y las variables de proceso involucradas, así como también identificar las relaciones que existen entre las variables del proceso (Hernández Sampieri et al., 2007, p. 102).

3.2 Tipo de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se utiliza los siguientes tipos de investigación:

Retrospectiva

Mediante la recolección de datos de las principales variables del proceso se analiza los hechos ocurridos en años anteriores para tener la información adecuada del comportamiento de las variables a lo largo del tiempo.

Longitudinal.

Para el desarrollo del presente trabajo se requiere obtener datos de la población en estudio en distintos momentos durante un periodo de tiempo, esta es la parte central de la investigación ya que se requiere examinar las variaciones presentes en el proceso en un periodo de tiempo al momento de considerar realizar mejoras, las mismas que se deben analizar y evidenciar mediante el análisis de datos y la exposición de los resultados.

Niveles

Para el desarrollo de este trabajo es necesario alcanzar el nivel de investigación aplicada, ya que se requiere conocimientos adquiridos, el enfoque principal está basado en la detección y

solución de un problema, que para este caso es la aplicación de herramientas de la metodología six sigma para disminuir la variabilidad del proceso de anodizado de perfiles de aluminio.

3.3 Método de investigación

Los estudios cuantitativos llevan la esencia en su título, cuantificar y aportar evidencia a una teoría que se tiene para explicar algo; se fundamentan en un proceso deductivo, es decir, generalmente se extrae una muestra de la población a estudiar y se pretende extender los resultados a toda la población “de lo general a lo particular” (Gómez, 2006, p. 61).

El presente trabajo se introduce mediante el método deductivo para obtener un primer diagnóstico a través de la medición de una característica del producto terminando, luego la obtención de los parámetros de proceso y la determinación de las posibles variaciones, al avanzar la investigación en una segunda etapa se puede usar el método analítico, el mismo permitirá estudiar de forma individual las variables de impacto en la variación de los procesos, al aplicar la metodología six sigma se finalizara con el método inductivo al concentrar el interés en la disminución de la variabilidad del área de interés y el mejoramiento del proceso.

Se procede con la técnica de investigación documental, para profundizar la información necesaria para desarrollar el análisis de datos así como la adquisición de información bibliográfica sobre la metodología six sigma, en una siguiente etapa se requiere utilizar una técnica de campo, porque es necesario asistir al lugar donde existe el problema y recabar información de los parámetros del proceso, finalmente se debe evaluar mediante la toma de datos la influencia sobre el proceso de anodizado y el producto terminado, así como también el impacto económico a través de la mejora del proceso.

Para realizar el muestreo del espesor de capa anódica o capa de óxido de aluminio, la estrategia de muestreo que se empleara es muestreo aleatorio estratificado, (Alba, 2005, p. 75),

ya que los diferentes productos que se procesan en el área de anodizado, por su condición tienen características diferentes entre sí y están clasificados como acabados y codificados numéricamente, los mismos difieren de acuerdo con el espesor de capa anódica y de acuerdo con el porcentaje que representa dentro de la producción, se los puede agrupar tomando en cuenta los espesores de capa anódica similares:

Acabado Natural 02, 10 micras

Acabado Natural 17, 15 micras

Acabado Natural 14, 21 micras

Acabado Champagne 09 y 10, 13 micras

Acabado Bronce Claro 03 y 05, 13 micras

Acabado Bronce Oscuro 04, 14 micras

Acabado Negro 06, 15 micras.

Para el presente estudio se define medir el espesor de capa anódica de uno tipo de acabado, como variable de salida en producto terminado, por lo que se selecciona el acabado Bronce Oscuro 04, el mismo que cumple con todas las etapas del proceso y es el acabado de color de mayor producción.

Para la fase de recolección de datos de las variables de interés del proceso de anodizado se define tomar una muestra representativa mediante la estrategia de muestreo aleatorio, utilizando las bases de datos de almacenamiento existentes en la empresa. El muestreo aleatorio es el procedimiento de selección de una muestra de n elementos de entre la población, con probabilidades iguales, sin reposición y sin tener en cuenta el orden de colocación de cada unidad dentro de la muestra.

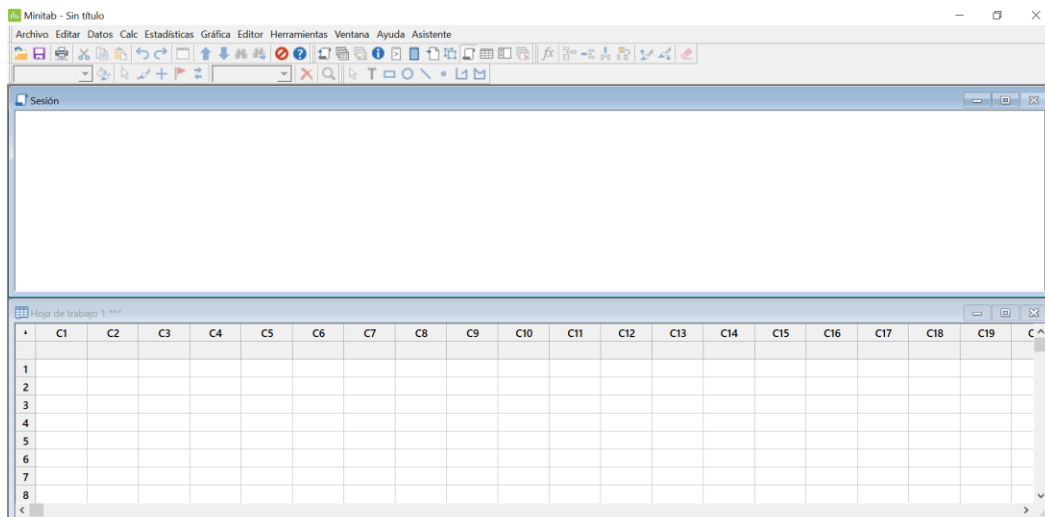
Para el presente estudio se define la concentración de la solución química, temperatura, corriente y tiempo de proceso como las variables de operación de mayor influencia en la etapa de anodizado (Vergara, 2010).

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos en una primera fase de diagnóstico son una computadora e implementos de almacenamiento de datos, libreta de apuntes, posterior a esto durante la etapa de mejora de la metodología six-sigma, para el ajuste y validación de parámetros de proceso se utilizará instrumentación y sistema de control electrónicos, sistema scada, computadora con bases de datos, instrumentos de medición de espesor de capa de óxido de aluminio, etc.

Para el análisis de concentraciones químicas se dispone de un laboratorio con la instrumentación adecuada para realizar los ensayos pertinentes (GT Especificaciones Pascale Bellot (2019).

Toda la información obtenida será analizada mediante el software Minitab, el mismo que es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. El software permite detectar tendencias, resolver problemas, descubrir información valiosa en sus datos y lograr la excelencia a través del conjunto de herramientas y soluciones de análisis de datos y mejora de procesos (Cosialls, 2005)

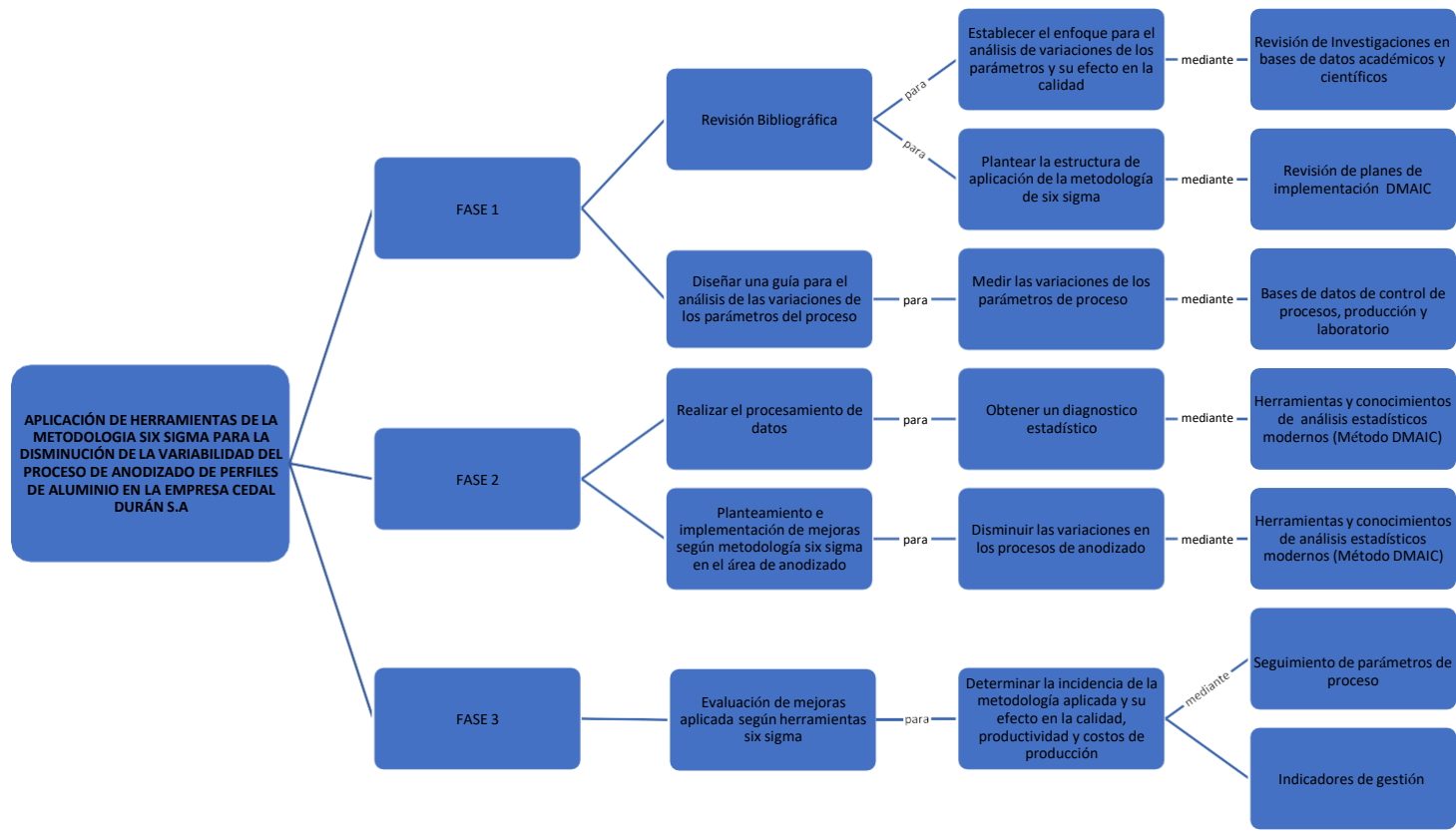
Figura 8.- Hoja de trabajo de programa minitab



Fuente: Programa Minitab (2019)

Elaborado por: El autor

Figura 9.- Diseño de la investigación



3.4 Determinación de la muestra

Población de estudio

Se identifica y delimita en la formación de la capa de óxido de aluminio, es aquí donde se enfoca el estudio para analizar las variaciones que se presentan a lo largo del tiempo y en esta etapa del proceso, que para este caso se definen como anodizado, donde se realiza la formación de la capa de óxido de aluminio, considerando el espesor de capa anódica, o capa de óxido de aluminio, la misma que se forma sobre la superficie del perfil en las cubas electrolíticas controlando las variables identificadas como temperatura, tiempo, concentraciones químicas, variables eléctricas, en los tanques o unidades de proceso.

Selección de la muestra

Para la presente investigación es en base a una variable de salida factible de medir como es el espesor de capa de óxido de aluminio y a las variables de proceso de la línea de anodizado, utilizando el método de muestreo probabilístico, y el tipo de muestreo aleatorio estratificado, (Hernández Sampieri et al., 2007) donde se asume que la variación de estos parámetros son los causantes de afectar gravemente a la calidad del producto, la aparición de productos no conformes, los altos costos del área y de la empresa. Es necesario estratificar por secciones cada una de las variables para el estudio por lo tanto se establece sección de espesor de capa anódica, sección de concentración química, sección de tiempos, sección de temperaturas, sección de corriente eléctrica.

Para el cálculo de la muestra se puede utilizar la siguiente formula:

$$n' = (zs/d)^2$$

$$n' = p(-p) / \left(\frac{d}{z}\right)^2$$

Tipos de instrumentos de investigación en correspondencia con la información primaria y secundaria seleccionada para el estudio

Para realizar la investigación es necesario contar con una computadora con paquete office, unidades de almacenamiento de datos, libreta de apuntes, instrumentación y sistema de control electrónicos, sistema SCADA, computadora con bases de datos.

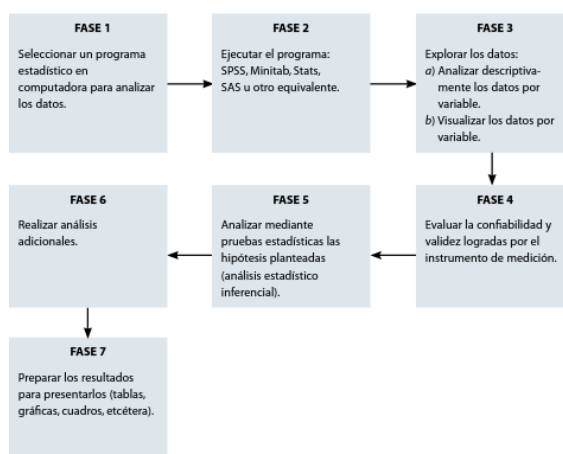
Para tratar variables químicas se utiliza instrumentos y materiales de laboratorio, pipetas, matraz Erlenmeyer, balón aforado, vaso de precipitación, buretas, probetas.

Tratamiento de la información

Una vez que los datos se han codificado transferido a una matriz guardado en un archivo y limpia de errores el investigador procede a analizarlos.

El análisis cuantitativo de los datos se lleva a cabo por computadora, de ahí la necesidad de tener la capacidad de interpretación de los resultados de los métodos de análisis cuantitativo, el análisis de los datos se efectúa sobre la matriz de datos utilizando un programa computacional (Hernández-Sampieri 2018). En la figura 10 se presenta un esquema que guía el proceso para realizar el análisis estadístico.

Figura 10.- Proceso para efectuar análisis estadístico



Operacionalización de las variables

Las operaciones necesarias para la medición de las variables de las hipótesis formuladas en la investigación (Hernández-Sampieri 2018).

Variables independientes

VI: Metodología Six Sigma

VI. Diagnóstico de la situación actual

VI. Herramientas de la metodología Six Sigma

VI. Evaluación de resultados

Variables dependientes

VD: Variabilidad del proceso de anodizado

VD. Variaciones en el producto terminado

VD. Variaciones del proceso

VD. Beneficio.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1.1 Desarrollo de la etapa definir (DMAIC)

4.1.1.2 Carta del proyecto

En la tabla 1 se detalla el Project charter o carta del proyecto, según la metodología usada en este estudio, aquí se describe rápidamente información fundamental requerida para definir el proyecto.

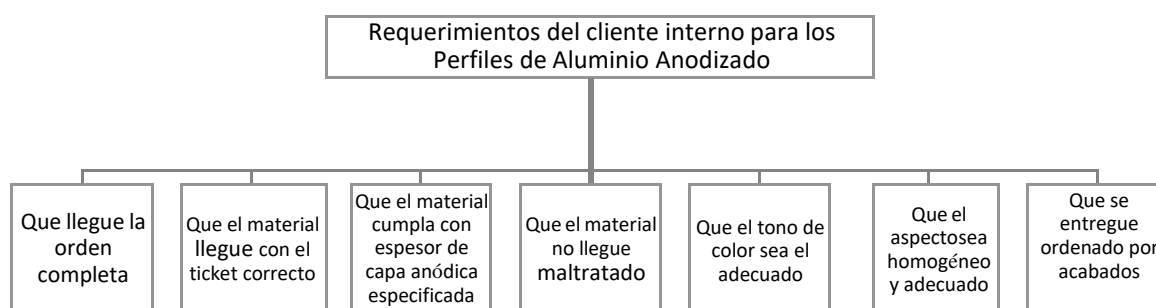
Tabla 1. Project charter

NOMBRE DEL PROYECTO	SPONSOR	LIDER	FECHA
Existe variaciones en el espesor de capa de óxido de aluminio del producto terminado y en los parámetros del proceso de anodizado	Gerente de Planta	Ingeniero de procesos	1/7/2021
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	ALCANCE	
En la etapa de anodizado se presentan variaciones en el proceso y en el producto terminado. En el primer semestre del 2021 se mide una capa anódica de 17 micras con una desviación estándar de 2.08 micras	Disminuir la variación del proceso y del producto terminado	Aplicable al proceso de anodizado, disminuyendo la variabilidad de los parámetros y del espesor de capa anódica en la etapa de anodizado de perfiles de aluminio.	
INDICADORES SECUNDARIOS Y DE PROTECCIÓN	INDICADOR DE ÉXITO	IMPACTO ECONÓMICO ESTIMADO	
Espesor de capa anódica del acabado bronce oscuro con una desviación estándar de 2 micras, capacidad de proceso, nivel sigma	nivel sigma	Reducción de costos por reducción de material no conforme y uso eficiente de recursos hasta aproximarse a 800 \$/Tm	
EQUIPO DE TRABAJO	GRUPOS DE INTERÉS	RIESGOS POTENCIALES	
Ingeniero de procesos Jefe de área Supervisor de control de calidad Supervisor de control de procesos Ingeniero de laboratorio	Empaque Control de calidad Control de la producción Laboratorio	Falta de materias primas Altos costos de materiales Crisis económica mundial Disminución de la demanda Resistencia al cambio	

4.1.1.3 Voz del cliente Y Ctq's

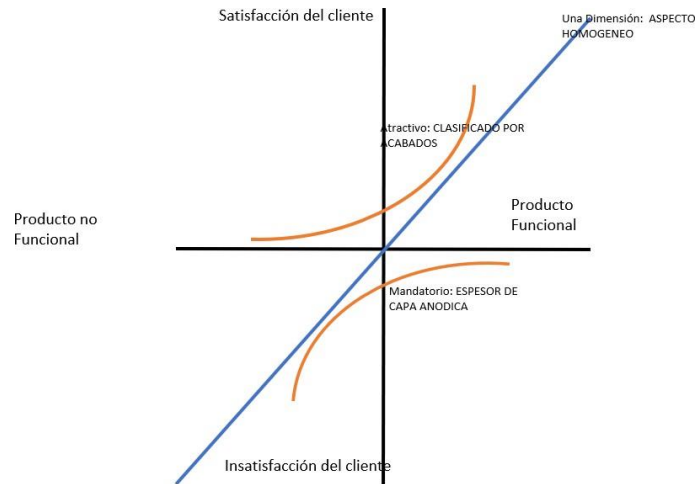
Se aplica las herramientas de voz del cliente de manera interna, definiendo a nuestros clientes internos, al personal de empaque, control de calidad y control de la producción, para la recolección de datos se realiza encuestas a 20 personas de las cuales se obtiene la información para tabular y obtener los CTQ'S y representar el diagrama de KANO. En la figura 11 se resume los requerimientos del cliente conocido como la voz del cliente, obtenido del personal interno de la empresa involucrado en el flujo del proceso

Figura 11. Voz del cliente interno



La lista de requerimientos obtenida de la voz del cliente se logra traducir en CTQ'S, y de esta manera fortalece la intención de esta investigación, se prioriza el enfoque en el aspecto homogéneo del material y que cumpla con las especificaciones de espesor de capa de óxido de aluminio, en la figura 12 se representa el diagrama de Kano donde se logra priorizar en función de sus niveles de desempeño y de satisfacción

Figura 12. Requerimientos del cliente interno para perfiles de aluminio anodizado



Fuente: Diagrama de KANO

Elaborado por: El autor)

4.1.1.4 Costo de mala calidad

En la tabla 2 se expone información que evidencia el costo de la mala calidad, donde relaciona las incidencias producidas en un día y el costo asociado de mano de obra y costo de producción, es importante tener identificado este costo ya que es un valor que existe, pero no se controla.

Tabla 2. Costo de mala calidad

INCIDENCIAS PRODUCIDAS EN UN DÍA Y COSTOS DE MANO DE OBRA ASOCIADO A LA REPARACIÓN DE ESAS INCIDENCIAS

Cantidad de material no conforme (t/día)	Cantidad de material producido (t/día)	Número de defectuosos al día/Número totales al día (T rechazo/T totales)	Número de personas que trabajan en el área	Horas de trabajo al día	Sueldo por cada hora de trabajo	CMC (\$)
0.9	12	0.0750	36	24	2.56	165.89

COSTO DEL MATERIAL ASOCIADO

Costo de cada artículo utilizado (Costo de cada tonelada producida)	Cantidad de defectos al día	CMA
650	0.9	585
TOTAL, COSTO DE MALACALIDAD		750.89

Fuente: Planta de Anodizado de Aluminio

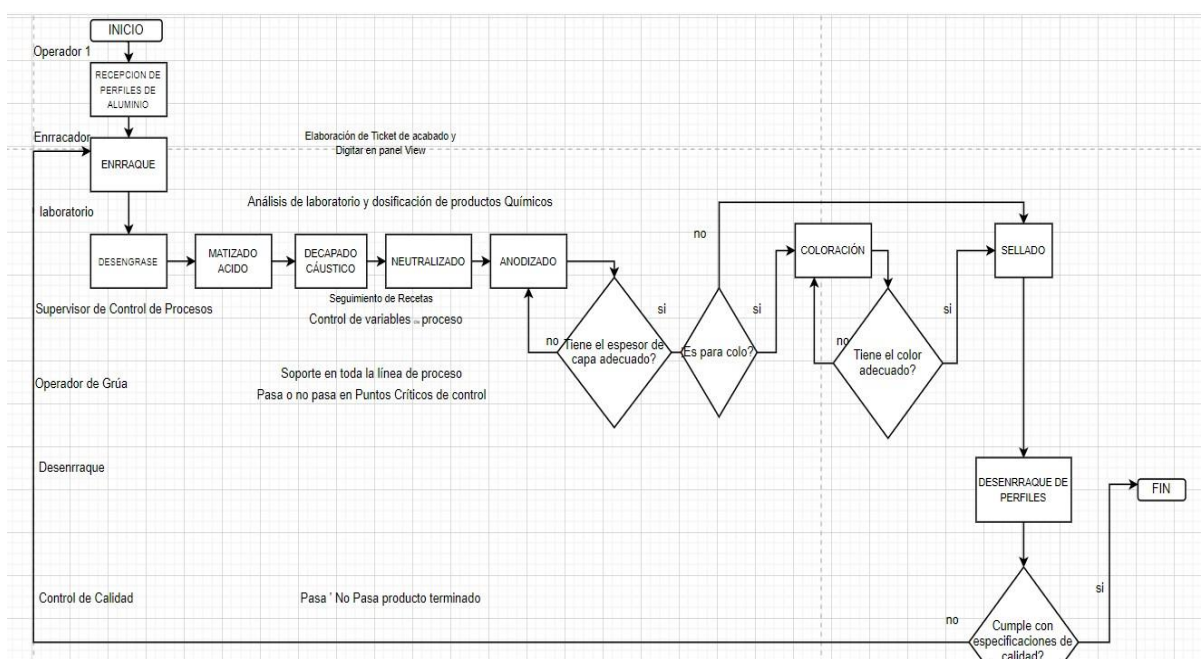
Elaborado por: El autor

4.1.1.5 Medir y mapear

4.1.1.5.1 Mapa de procesos nivel 2(PMAP)

A continuación, en la figura 13 se presenta el mapa de proceso de la línea de anodizado de perfiles de aluminio, aquí se puede conocer en términos generales todo el trabajo que se realiza para obtener un perfil de aluminio anodizado terminando.

Figura 13. Mapa de proceso de anodizado de perfiles de aluminio



Fuente: Planta de Anodizado de Aluminio

(Elaborado por: El autor)

4.1.1.5.2 Análisis del sistema de medición R&R

Para realizar el análisis del sistema de medición, el proceso Gage R&R ha sido completado con 20 perfiles de aluminio, para lo cual se utiliza 3 evaluadores, cada evaluador realizó 3 mediciones en la misma parte, por lo que el estudio R&R del sistema de medición realizado es de tipo cruzado, la tolerancia es de 4 micras

Se demuestra que el sistema de medición es bueno.

La información que arroja el análisis Gage R&R (% of contribution) está por debajo del 8% por lo tanto el sistema de medición es bueno.

La información que arroja el Gage R&R (% of Study variation) está por debajo del 30%, por lo tanto, el sistema de medición es confiable

4.1.1.5.3 Plan de recolección de datos (Muestreo)

Se realiza en función de una variable de salida factible de medir, que es el espesor de la capa anódica (μ micras) y las variables de proceso conocidas como concentración de ácido sulfúrico (g/l), temperatura ($^{\circ}$ C), tiempo (min) y corriente eléctrica (A).

La capa de óxido de aluminio es la característica principal del aluminio anodizado, la misma que consiste en la oxidación controlada, para crear en la superficie de los perfiles una capa de óxido de aluminio, la misma que brinda al perfil características de protección y de decoración.

Por ser la formación de la capa de óxido de aluminio la parte principal del proceso de anodizado es también la característica para controlar y la que se debe cumplir según normativa nacional o de acuerdo con especificaciones en el pedido del cliente.

Una capa de óxido de aluminio debe medir 10 micras (+-1) de acuerdo con la Norma INEN 2250, pero internamente la empresa ha definido algunos estándares de acuerdo con los tipos de producto para asegurar que el acabado sea adecuado, para este estudio se realiza un muestreo aleatorio estratificado y se selecciona el acabado bronce oscuro (04) cuya especificación interna es 14 +-2 micras de espesor de capa de óxido de aluminio. Paralelo a esto se estudian las variables de proceso definidas para el proceso de anodizado

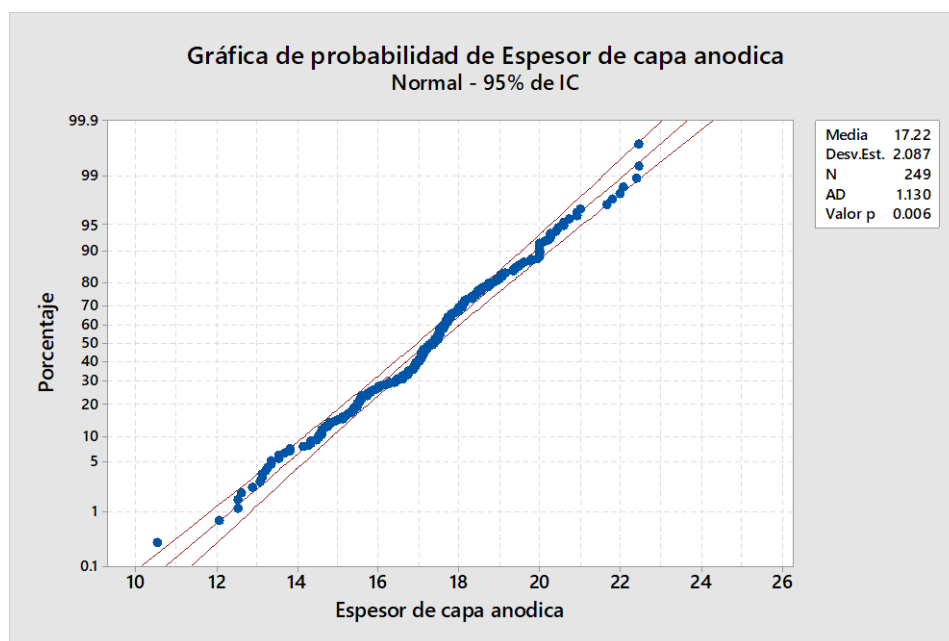
Se define tomar una muestra representativa, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, el tamaño de muestra calculado con Minitab es de 249 datos. La información de espesor de capa de óxido de aluminio es tomada de la base de datos del departamento de control de calidad aplicando la estrategia de muestreo aleatorio estratificado, mientras que la información

de variables de proceso es tomada tanto del laboratorio de análisis químicos y de la base de datos del sistema SCADA de la planta de anodizado.

4.1.1.5.4 Gráfico de prueba de normalidad de datos de espesor de capa anódica de enero a junio del 2021

En la figura 14 se muestra la gráfica de probabilidad, donde se expone la prueba de normalidad a la que fueron sometidos los datos de espesor de capa anódica, evidenciando que tienen una distribución normal, ya que el valor p es mayor a 0.005, lo que nos indica que los datos son normales y se puede continuar con el estudio.

Figura 14. Prueba de normalidad espesor de capa anódica



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.1.5.5 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021

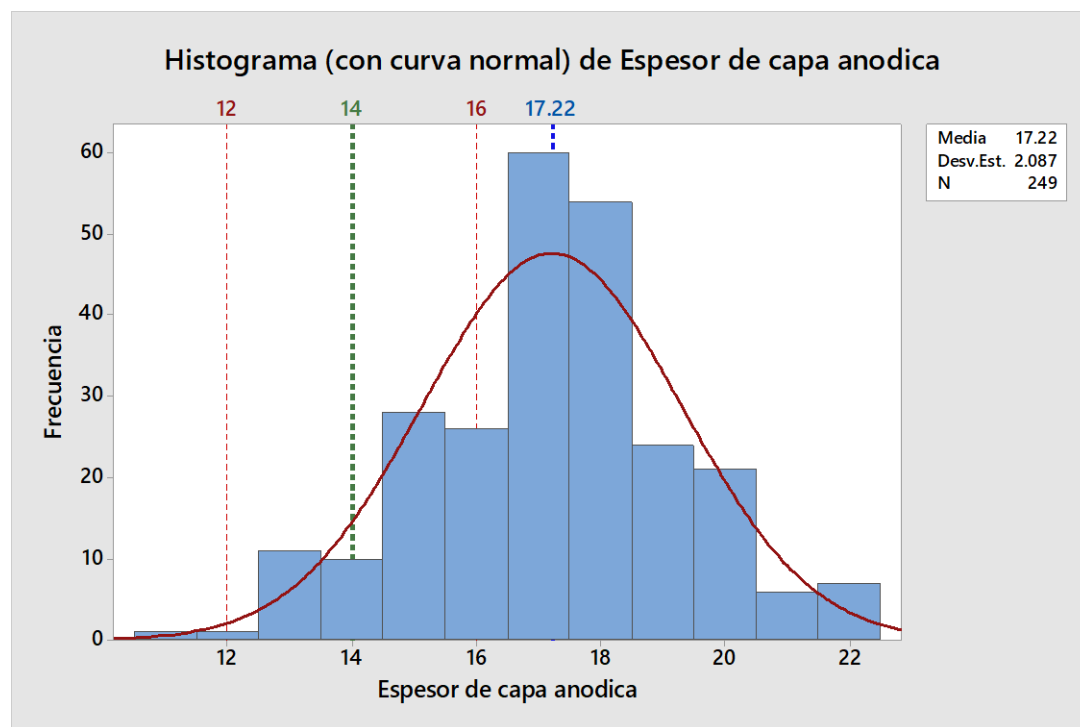
En la figura 15 se presenta un histograma donde se puede evidenciar una distribución con una media de 17.22 micras y una desviación estándar de 2.087, aquí se evidencia que la mayoría de los datos están fuera de especificación, ya que la media esperada es de 14 micras. En este caso el producto elaborado bajo estas condiciones está con un espesor de capa muy superior, dando una

protección al producto por la cual el cliente no está pagando, el cliente desconoce este beneficio, sin embargo, la empresa está perdiendo por consumo innecesario de recursos, esto analizado desde beneficio que se obtiene al tener espesores de capa de óxido de aluminio superiores a los límites de especificación oficiales, sin embargo, analizado desde el punto de vista de la homogeneidad y los problemas que se observan con el material no conforme, la variación sigue siendo un grave problema, por lo tanto, se requiere centrar el proceso y disminuir la variación.

Figura 15. Histograma de espesor de capa anódica acabado bronce oscuro (04) de enero a junio del 2021

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango
Espesor de capa anodica	17.218	2.087	4.355	10.533	22.467	11.933



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

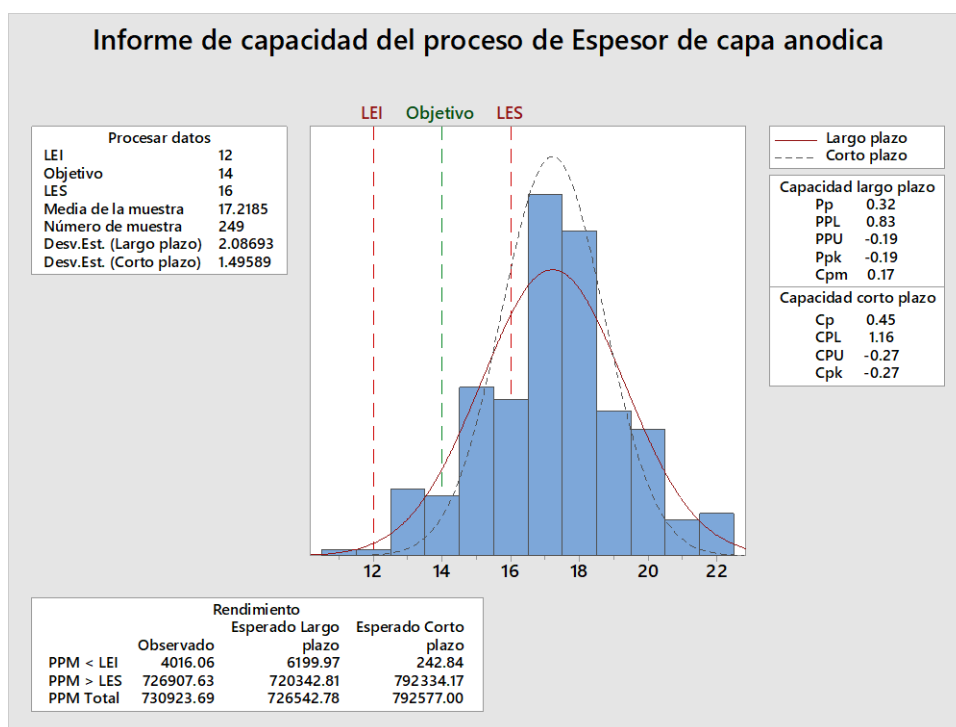
Elaborado por: El Autor

4.1.1.5.6 Gráfico de capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021

La capacidad general del proceso señalada en la figura 16 a través del indicador a largo plazo Pp 0.32 y Ppk -0.19, provee información de que el proceso no es Capaz, debido a que Pp está por debajo de 1.33 y Ppk está por debajo de 1, a corto plazo el Cp es de 0.45 y el Cpk es de -0.27, por otro lado, el proceso no está centrado, el proceso está sesgado hacia la derecha, y la media de los datos está por encima del límite superior por lo que el proceso está fuera de control, el proceso no es capaz de operar dentro de las especificaciones.

El rendimiento del proceso en los datos observados nos evidencia un total de 730923.69 ppm de defectos, el rendimiento esperado a largo plazo o defectos por millón de oportunidades es de 726542.78 ppm, lo que permite pronosticar que en estas condiciones del proceso por cada millón de oportunidades se puede tener 726542.78 defectos.

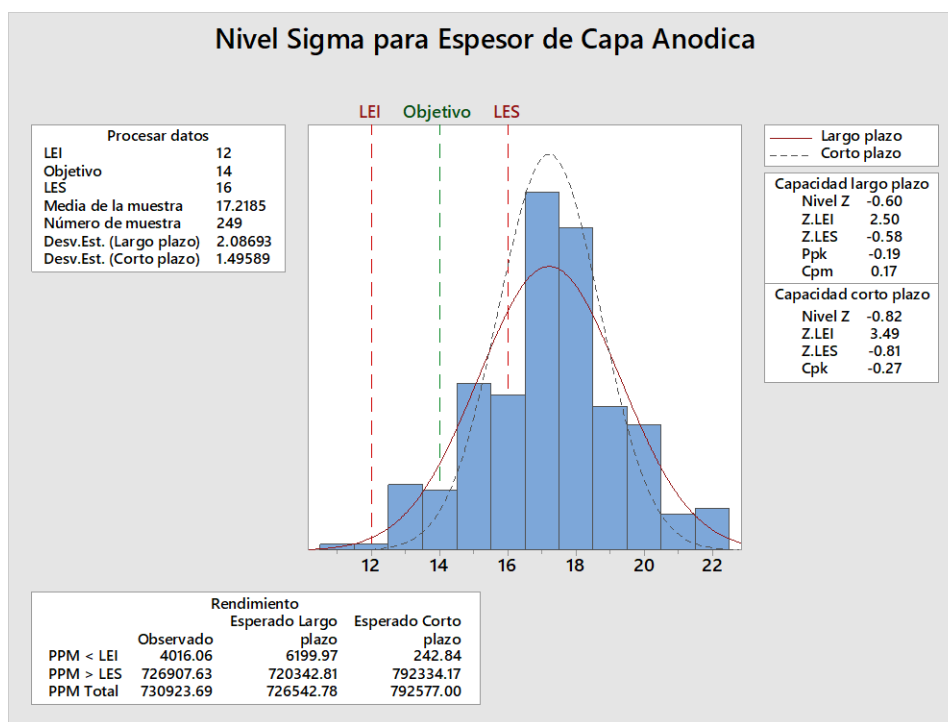
Figura 16. Capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021



4.1.1.5.7 Gráfico de nivel sigma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021

Mediante el software Minitab se puede calcular el nivel sigma, en la figura 17 se muestra como nivel Z -0.60, lo que indica que hay mucho por mejorar, bajo este nivel sigma el proceso está totalmente fuera de control. No se puede hablar aun de un nivel sigma en estas condiciones, no existe capacidad de operar dentro de especificaciones por lo que es necesario identificar causa raíz de los problemas para poder llevar al proceso a un nivel sigma positivo. El nivel Z -0.60 permite 726542.78 ppm de defectos.

Figura 17. Nivel sigma para espesor de capa anódica de enero a junio del 2021



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.1.5.8 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada de enero a junio del 2021

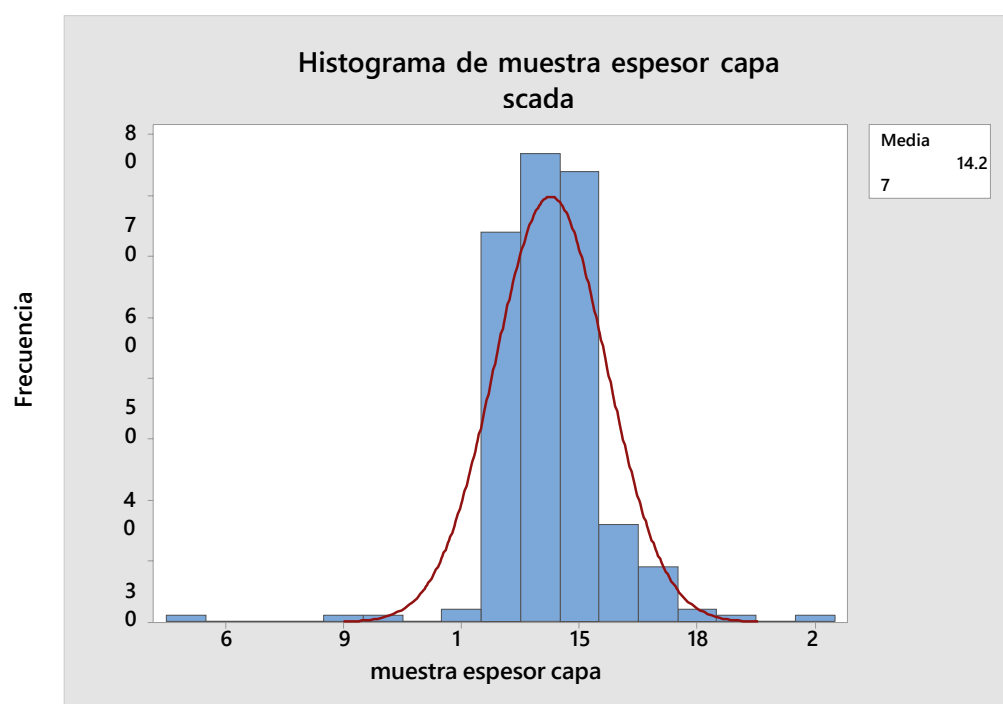
En la figura 18 se expone un histograma con los datos recolectados del sistema scada, donde se evidencia que los datos que se están registrando cumplen con el objetivo, en la receta para acabado 04 bronce oscuro se busca un espesor medio de 14 micras, y el sistema almacena datos con una media de 14,27 con una desviación estándar de 1.42, esta información confirma que existe una des calibración y que el sistema automático no está cumpliendo con su trabajo de manera correcta ya que físicamente las mediciones de espesor de capa anódica arrojan valores con una media superior a 17 micras mientras que el SCADA mantiene una media de 14.27.

Figura 18. Histograma espesor de capa anódica acabado bronce oscuro (04) registrados por el sistema scada de enero a junio del 2021

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo
muestra espesor capa scada	14.269	1.421	2.020	5.000	14.000	21.000	16.000	14

Variable	N para moda
muestra espesor capa scada	77



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

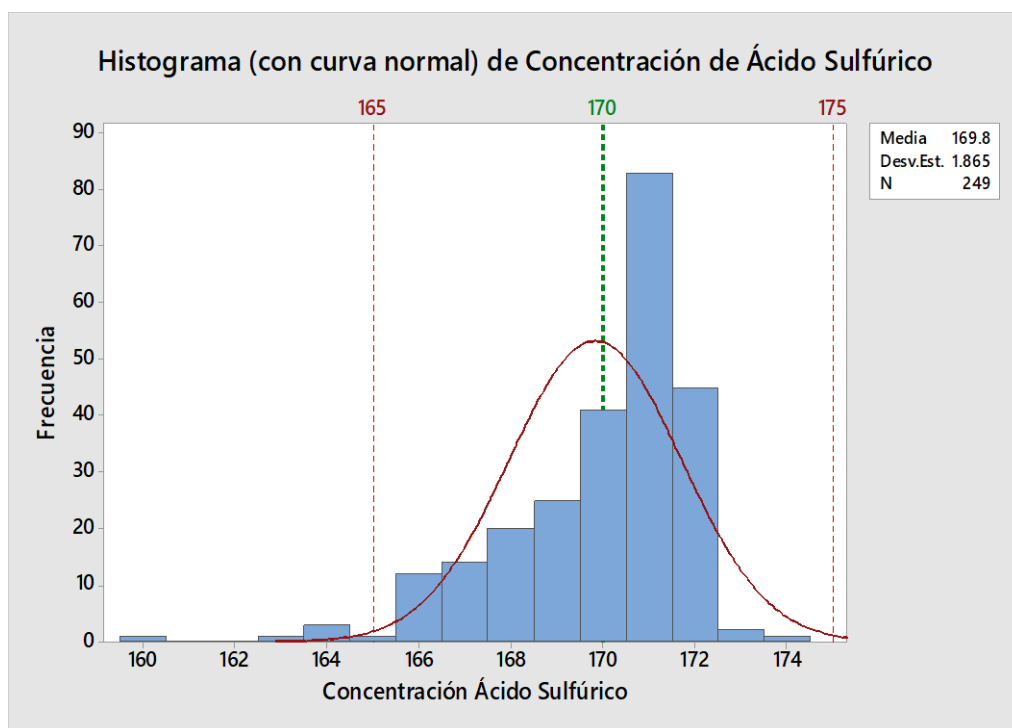
4.1.1.5.9 Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a junio del 2021

En la figura 19 se muestra un histograma de concentración de ácido sulfúrico, las especificaciones de proceso son 170 ± 5 g/L, los datos muestran una media de 169.83 con una desviación estándar de 1.86.

Figura 19. Histograma de concentración de ácido sulfúrico del proceso de anodizado de enero a junio del 2021

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
M. Conc. Ácido Sulfúrico	169.83	1.86	3.48	160.08	170.52	173.76	13.68



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

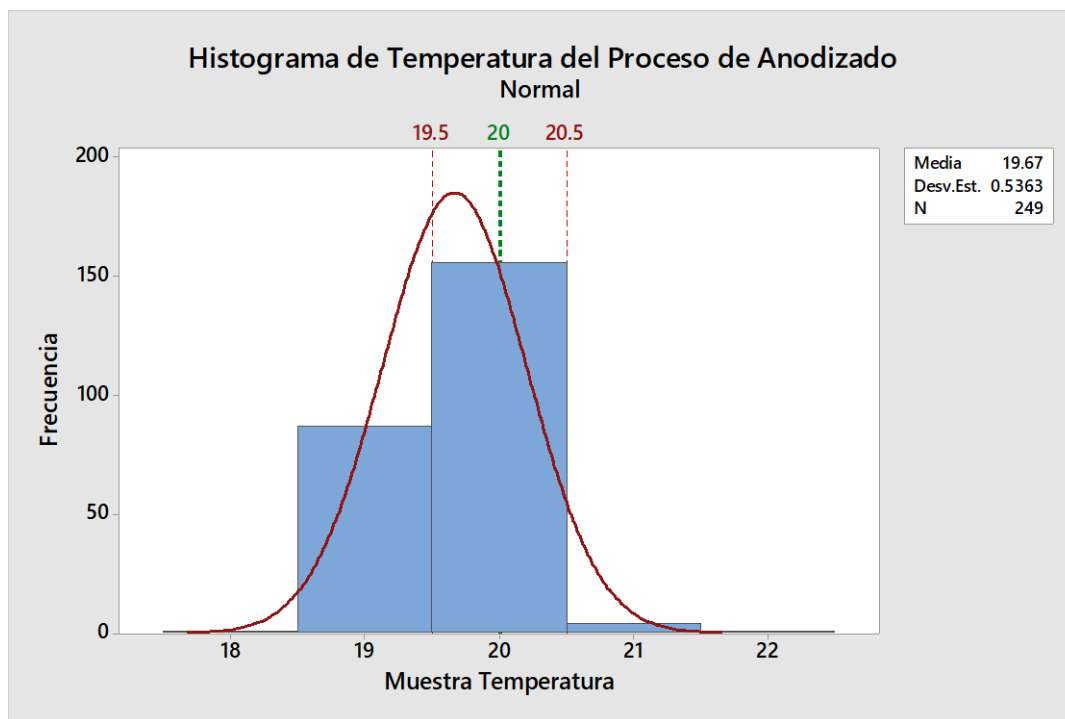
4.1.1.6.0 Histograma de temperaturas del proceso de anodizado de enero a junio del 2021

En la figura 20 se muestra datos de temperaturas que almacena el sistema de manera automática, aquí los datos son registrados de acuerdo con las cargas que son procesadas, las condiciones de operación son 20 ± 1 , los datos analizados nos indican una media de 19.67 con una desviación estándar de 0.536, cuando alguna unidad de proceso supera los 21°C , se deja de usar esa unidad hasta lograr bajar la temperatura.

Figura 20. Histograma de temperaturas del proceso de anodizado de enero a junio del 2021

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo	N para moda
Muestra Temperatura	19.667	0.536	18.000	20.000	22.000	4.000	20	156



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

Elaborado por: El Autor

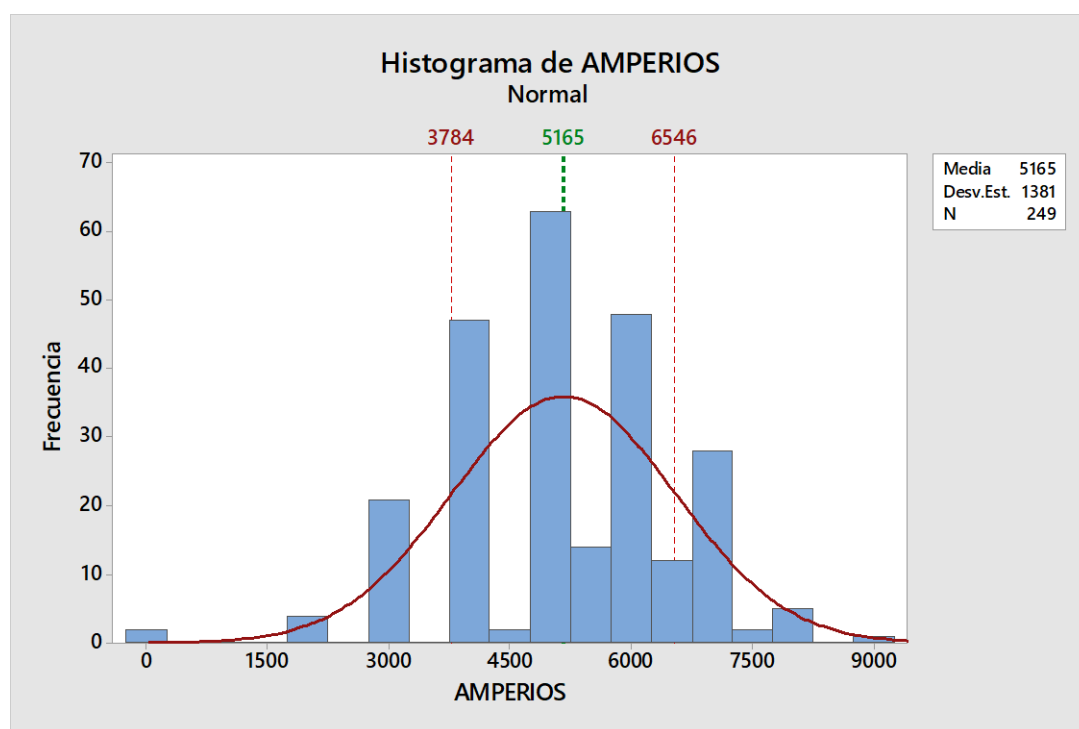
4.1.1.6.1 Histograma de consumo de corriente (amperios) del proceso de anodizado de enero a junio del 2021

En la figura 21 se muestra datos de corriente media (en Amperios) almacenados por el sistema scada, esta corriente es emitida de acuerdo con el tamaño de carga y es directamente proporcional, a mayor tamaño de carga mayor densidad de corriente, los datos nos indican una media de 5165 A y una desviación estándar de 1381.2

Figura 21. Histograma de consumo de amperios para el acabado bronce oscuro 04 de enero a junio del 2021

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
AMPERIOS	5165.0	1381.2	1907768.9	0.0	5000.0	9000.0	9000.0



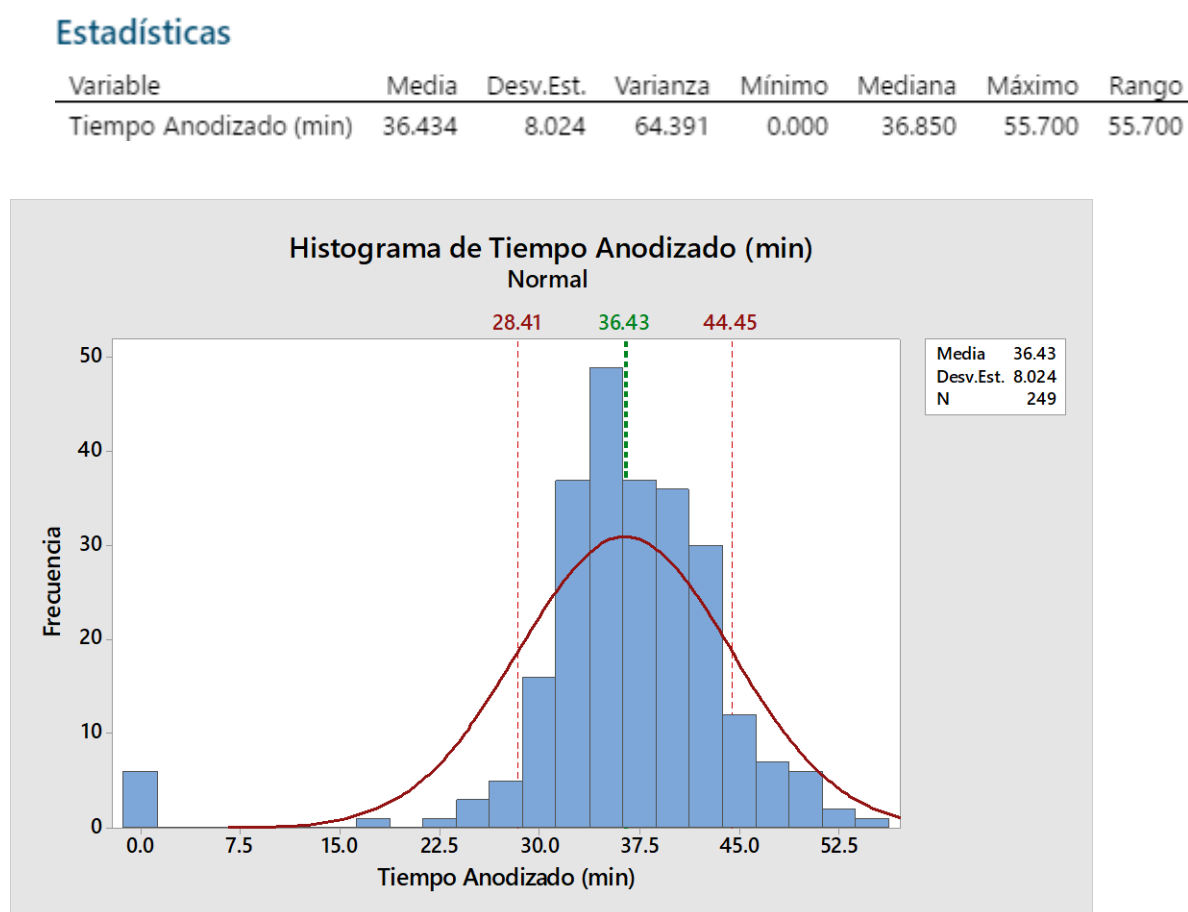
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.1.6.2 Histograma de tiempos de proceso de anodizado de perfiles de aluminio de enero a junio del 2021

En la figura 22 se observa un histograma de tiempos de proceso de anodizado, con una media de 36.43 minutos y una desviación estándar de 8.024. este tiempo es calculado de forma automática por los equipos y de acuerdo con el acabado y la receta almacenada en el software de control.

Figura 22. Histograma de tiempos del proceso de anodizado de perfiles de aluminio de enero a junio del 2021



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

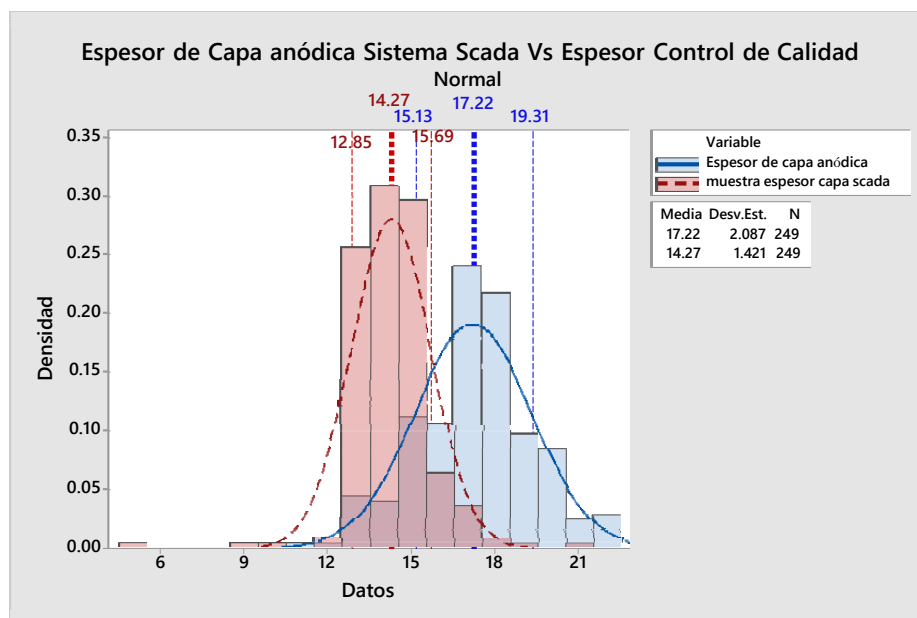
Elaborado por: El Autor

4.1.2 Desarrollo de la etapa analizar

4.1.2.1 Gráfico comparativo de espesor de Capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada vs. espesor de capa de óxido de aluminio medido por personal de control de calidad de enero a junio del 2021

En la figura 23 se observa un histograma combinado, donde se comparan los datos registrados por el sistema scada y los datos medidos por el personal de control de calidad, aquí se evidencia claramente que el sistema automático registra una información que se creería es la deseada, pero físicamente las mediciones de espesor de capa anódica están distantes. Es importante mencionar que el espesor deseado para el acabado 04 bronce oscuro es 14 micras, el sistema scada registra una media de 14.27 y las mediciones de personal de calidad es una media de 17.22 micras.

Figura 23. Histograma de espesor de capa anódica acabado bronce oscuro (04) registrados por el sistema scada vs espesor de capa anódica medido por personal de control de calidadde enero a junio del 2021



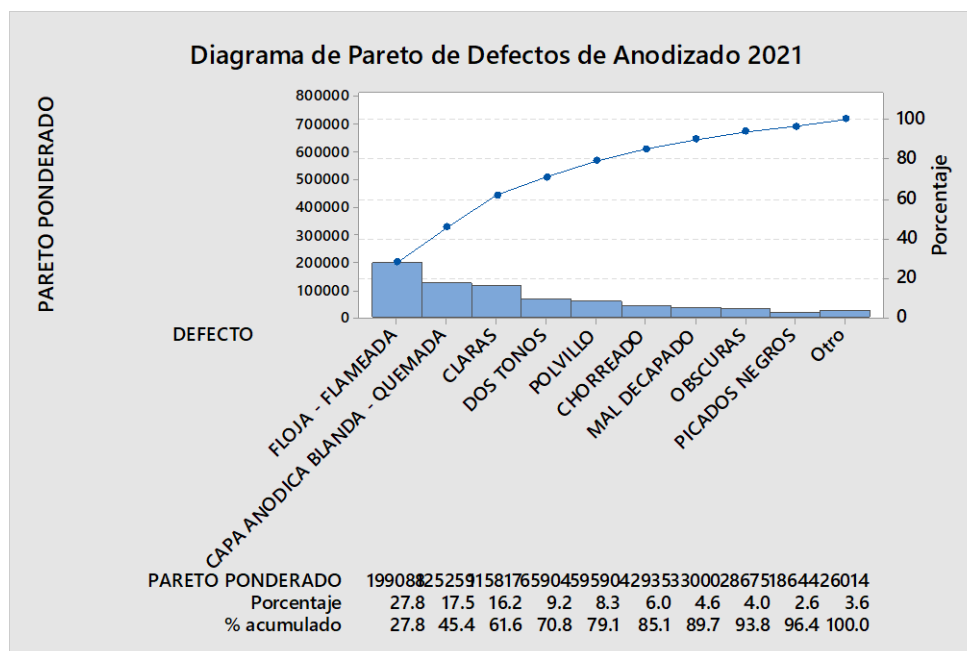
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.2.2 Diagrama de Pareto ponderado para analizar defectos de anodizado relacionados con la capa de óxido de aluminio de enero a junio del 2021

En la figura 24, el diagrama de Pareto muestra información ponderada, donde se da mayor valor desde el enfoque del producto con los defectos que mayor costo involucran y que están relacionados con la capa anódica. Al realizar la ponderación el diagrama de Pareto coloca en primer lugar a los defectos que están relacionados con la capa anódica y que justamente en el estudio anterior se evidencia que la capa anódica formada es de mayor espesor y por lo tanto es una capa inadecuada que puede desencadenar una serie de defectos en lo posterior, justamente la información que se muestra pone en primer lugar defectos como flameada, capa anódica blanda, claras, dos tonos, polvillo, que son defectos atados a una capa de óxido de aluminio no homogénea y mal conformada.

Figura 24. Diagrama de Pareto ponderado de defectos de anodizado con influencia directa de la capa anódica de enero a junio del 2021



Fuente: Planta de Anodizado de Perfiles de Aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.2.3 Prueba de hipótesis

Se plantea las siguientes Hipótesis

Hipótesis Nula H_0 . El espesor de capa anódica para el acabado Bronce 04 es igual a 14 micras ($H_0=14$ micras)

Hipótesis Alternativa H_1 . El espesor de capa anódica para el acabado Bronce 04 es diferente a 14 micras ($H_1 \neq 14$ micras)

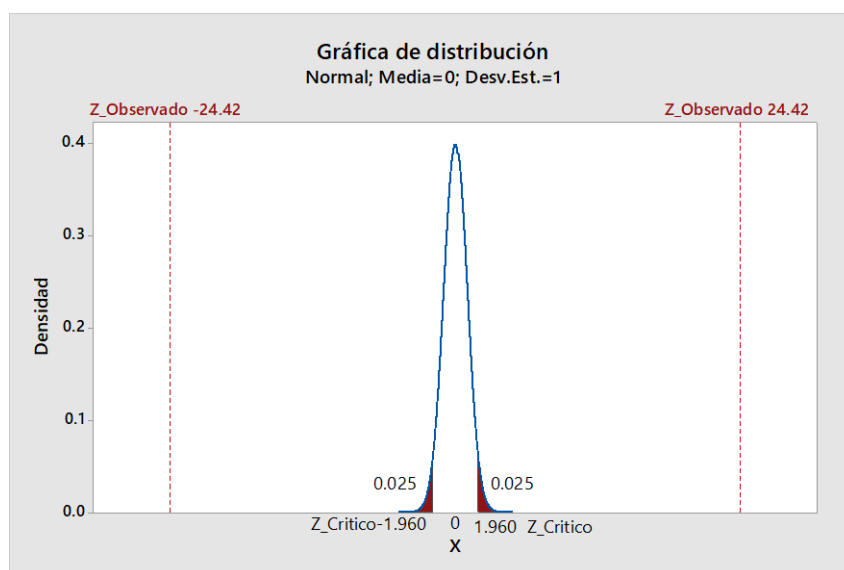
Estadístico de Prueba

Valor Z: 24.42

Valor p: 0.000

Como se puede observar en la figura 25 en estadístico de prueba Z observado recae fuera de la zona de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a favor de la Hipótesis alterna. El espesor de capa anódica para el acabado bronce 04 es diferente a 14 micras.

Figura 25. Prueba de hipótesis



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.2.4 Diagramas de lluvia de ideas

Con la aplicación de la herramienta lluvia de ideas y con la participación del personal involucrado en el proceso, se inicia el análisis con lluvia de ideas, es así como se muestra en la tabla 3 una lluvia de ideas para analizar y plantear las causas potenciales que provocan la desviación y la variabilidad del espesor de capa anódica

Tabla 3 Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad del espesor de capa anódica

INTEGRANTES:

Ingeniero de procesos

Supervisor de calidad

Supervisor de producción

Supervisor de mantenimiento

Ingeniero de laboratorio

Operador de cuarto de control

CAUSAS POTENCIALES

Falta de control de concentraciones de ácido sulfúrico

Falta de calibración de sistemas de control electrónicos

Falta de limpieza de barras y candados

Falla de control de temperaturas

Falta de mantenimiento de contactos de barraje

Falta de control operacional

Falta de conocimiento por parte del personal de tecnologías en el proceso

Falta de mantenimiento preventivo

Nota. Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio Realizado por: El autor

En la Tabla 4 se describe las causas potenciales que permiten analizar la desviación y variabilidad de la concentración de ácido sulfúrico en el proceso de anodizado de perfiles de aluminio.

Tabla 4. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable concentración de ácido sulfúrico

INTEGRANTES:

Ingeniero de procesos

Supervisor de calidad

Supervisor de producción

Supervisor de mantenimiento

Ingeniero de laboratorio

Operador de cuarto de control

CAUSAS POTENCIALES

Falta de control de concentraciones de ácido sulfúrico

No se puede dosificar por problemas de temperaturas elevadas (Fallo de Chiller)

Falta de stock de ácido sulfúrico

Problemas con los sistemas de dosificación, impide dosificar

Falta de mantenimiento de sistemas de dosificación

Ausencia de control y dosificación automática

Falta de conocimiento por parte del personal de tecnologías en el proceso

Nota. Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio Realizado por: El autor

A continuación, se presenta la tabla 5, donde se describe las causas potenciales responsables de la desviación y la variabilidad de la variable temperatura del proceso de anodizado.

Tabla 5. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable temperatura del proceso de anodizado

INTEGRANTES:

Ingeniero de procesos

Supervisor de calidad

Supervisor de producción

Supervisor de mantenimiento

Ingeniero de laboratorio

Operador de cuarto de control

CAUSAS POTENCIALES

Falta de control por parte del personal de procesos

Falta de capacidad del chiller

Falta de mantenimiento preventivo del chiller

Falta de mantenimiento preventivo de intercambiadores de calor

Falla de los sensores de medición

Falta de conocimiento por parte del personal de tecnologías en el proceso

Nota. Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de aluminio Realizado por: El autor

La siguiente variable en análisis es la variable corriente eléctrica, la misma que de igual forma presenta una lista de ideas que se exponen en la tabla 6 que pueden considerarse como causas potenciales que incrementan la desviación y la variabilidad de la corriente eléctrica

Tabla 6 Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable corriente del proceso de anodizado

INTEGRANTES:

Ingeniero de procesos

Supervisor de calidad

Supervisor de producción

Supervisor de mantenimiento

Ingeniero de laboratorio

Operador de cuarto de control

CAUSAS POTENCIALES

Falla de rectificador

Falta de mantenimiento de barrajes

Falta de mantenimiento de racks y barras

Contactos en mal estado

Porosidad en racks y mordazas

Variación en la concentración de ácido sulfúrico

Nota. Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de aluminio

Realizado por: El autor

La variable tiempo es sometida a análisis y en la tabla 7 se resume las ideas que pueden ser las causas potenciales de variabilidad.

Tabla 7. Lluvia de ideas para analizar la desviación y la variabilidad de la variable tiempo del proceso de anodizado

INTEGRANTES:

Ingeniero de procesos

Supervisor de calidad

Supervisor de producción

Supervisor de mantenimiento

Ingeniero de laboratorio

Operador de cuarto de control

CAUSAS POTENCIALES

Falta de control por parte del personal de procesos

Falla de sistema de grúas, no cumple con los tiempos de proceso de anodizado

Exceso de uso de unidades en manual genera conflictos en el sistema automático

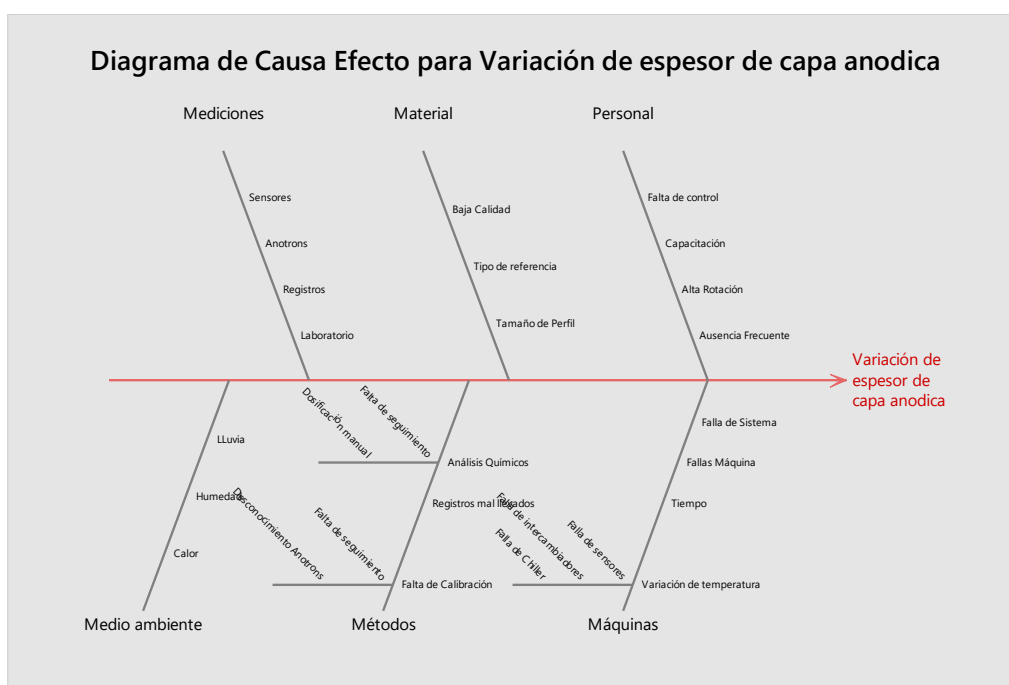
Gran cantidad de reproceso exige operar en manual.

El sistema por sí solo no alcanza a pasar suficientes cargas, el operador del cuarto de control realiza movimientos para acelerar el ingreso de cargas cambiando la prioridad de las grúas.

4.1.2.5 Diagrama de causa – efecto (Diagrama de Ishikawa)

Los diagramas de causa efecto a continuación esquematizan la información obtenida de la lluvia de ideas, para orientar de manera metodológica las posibles causas que origina los problemas de desviación y variabilidad del proceso de anodizado, los diagramas de causa y efecto se orientan usando la metodología de las 6 M (máquina, método, medio ambiente, mano de obra, material, mediciones). En la figura 26 se expone el diagrama de causa efecto o espina de pescado donde se analiza las posibles causas de variación del espesor de capa anódica.

Figura 26. Diagrama de causa efecto para variación de espesor de capa anódica

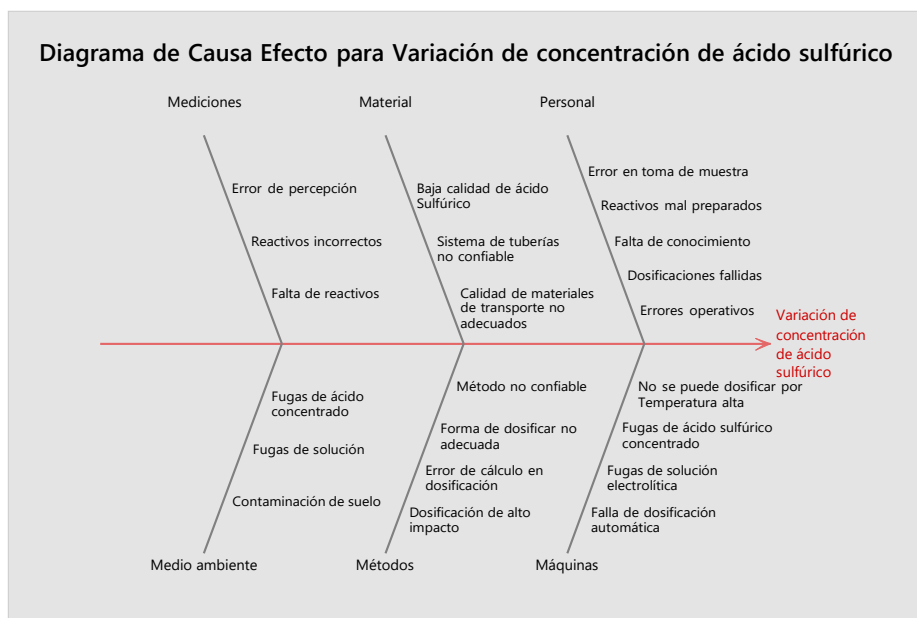


Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

En la figura 27 se puede observar la información canalizada en el diagrama de causa efecto aplicando las 6 M donde se expone las causas asignadas a la variación de la concentración de ácido sulfúrico

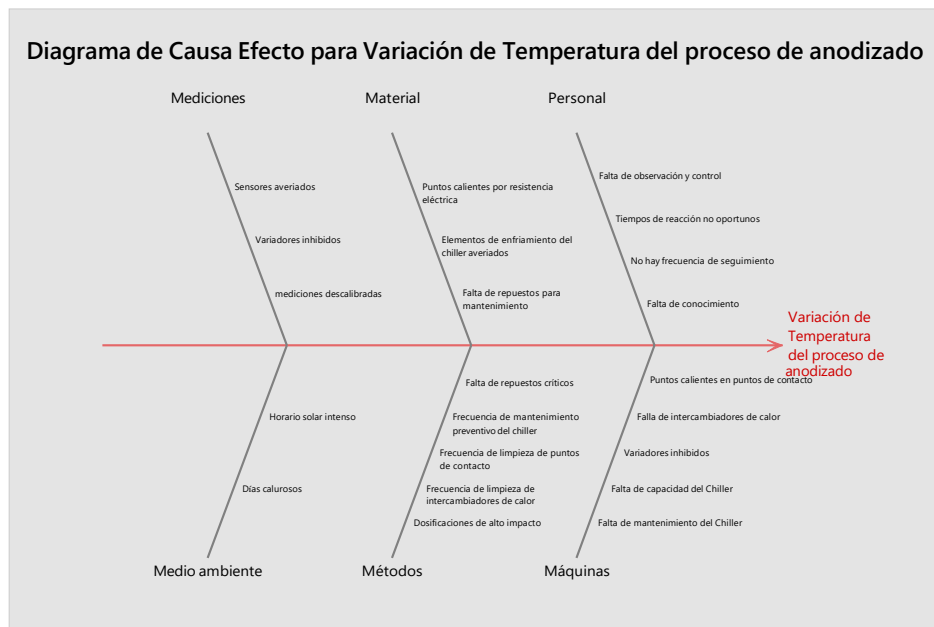
Figura 27. Diagrama de causa efecto para variación de concentración de ácido sulfúrico



Elaborado por: El autor

A continuación, en la figura 28 se puede observar las causas asignadas a la variación de la temperatura en el proceso de anodizado.

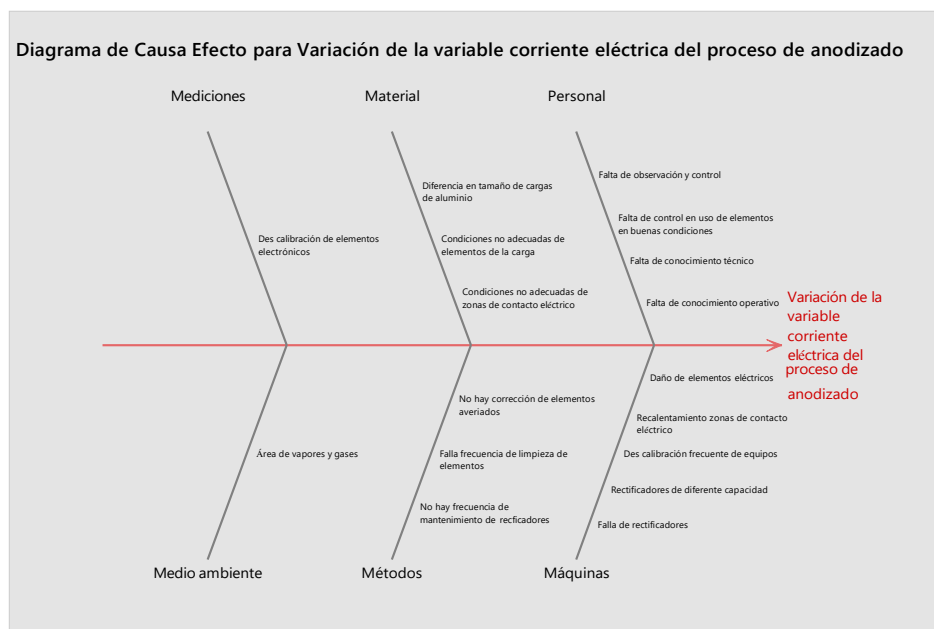
Figura 28. Diagrama de causa efecto para variación de temperatura del proceso de anodizado.



Elaborado por: El autor

En la figura 29 se puede analizar a través de esta herramienta las posibles causas de variación de la variable corriente eléctrica del proceso de anodizado.

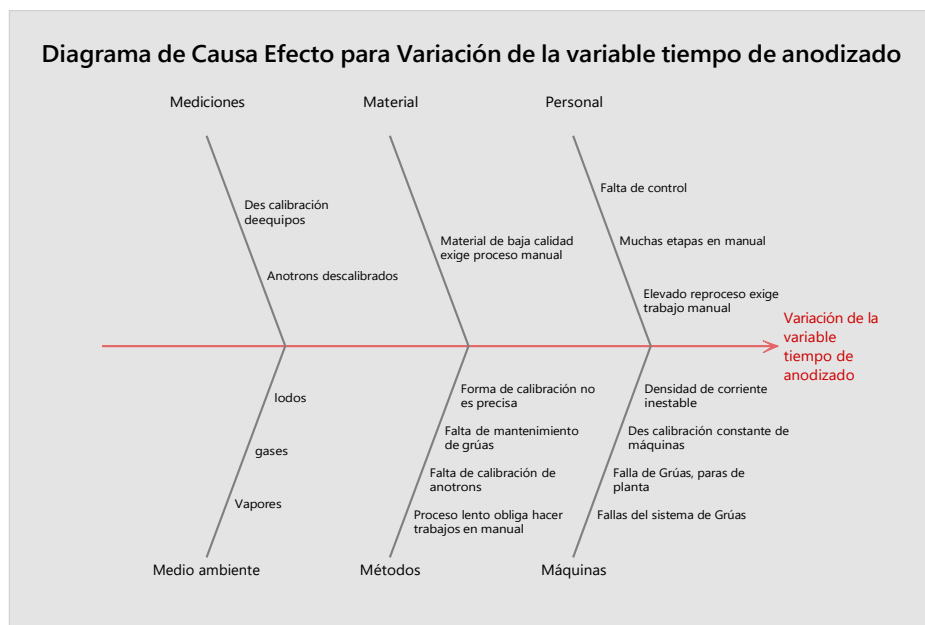
Figura 29. Diagrama de causa efecto para variación de la variable corriente eléctrica del proceso de anodizado.



Elaborado por: El autor

Finalmente, en la figura 30 se presenta el análisis de causa efecto relacionado con la variación de la variable tiempo en el proceso de anodizado

Figura 30. Diagrama de causa efecto para variación de la variable tiempo de anodizado.



Elaborado por: El autor

4.1.2.6 Análisis cinco ¿por qué?

Mediante la herramienta de análisis 5 ¿Por qué? y en base a los análisis previos y la información obtenida se actúa a través de preguntas hasta considerar llegar a la causa raíz del problema en análisis. En la tabla 8 se analiza la causa “falta de calibración de equipos” está relacionado con la variación de espesor de capa anódica

Tabla 8. 5 ¿por qué? Método – causa 1 (falta de calibración de equipos) – efecto (variación de espesor de capa anódica)

PROBLEMA 1: VARIACIÓN DE ESPESOR DE CAPA ANÓDICA		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	Falta de calibración de equipos	No hay seguimiento
2	¿Por qué no hay seguimiento?	No se establece una frecuencia
3	¿Por qué no se establece una frecuencia?	Por falta de conocimiento
4	¿Por qué falta de conocimiento?	No existe manuales
5	¿Por qué no existe manuales?	Falta de información de la tecnología

CAUSA RAÍZ: Falta de información de la tecnología usada para elaborar manuales y generar conocimiento para calibrar equipos.

En la tabla 9 se analiza la causa “falta de homogenización” está relacionado con la variación de espesor de capa anódica.

Tabla 9. 5 ¿Por qué? Máquinas causa 2 (falta de homogenización - efecto (variación de espesor de capa anódica)

PROBLEMA 1: VARIACIÓN DE ESPESOR DE CAPA ANÓDICA		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué falta de homogenización?	Sistema de bombas y de aire Insuficiente.
2	¿Por qué sistema de bombas y de aire insuficiente?	Capacidad de bombas baja y agitación con aire no Adecuado.
3	¿Por qué capacidad de bombas baja y agitación con aire no adecuado?	Cálculo de capacidad de bombas no considera

		homogenizar e instalación de aire comprimido no funciona.
4	¿Por qué cálculo de capacidad de bombas no considera homogenizar e instalación de aire comprimido no funciona?	Falta de conocimiento de la necesidad y falta de decisión en la inversión
5	¿Por qué falta de conocimiento de la necesidad y falta de decisión en la inversión?	

CAUSA RAÍZ: Falta de homogenización por falta capacidad instalada debido a la falta de conocimiento y falta de decisión en la inversión.

En la tabla 10 se analiza la causa “falla de máquina” está relacionado con la variación de espesor de capa anódica.

Tabla 10.- 5 ¿Por qué? Máquinas causa 3 (falla de máquina) – efecto (variación de espesor de capa anódica)

PROBLEMA 1: VARIACIÓN DE ESPESOR DE CAPA ANÓDICA		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué falla de máquina?	Falta de limpieza de sistema de barrajes.
2	¿Por qué falta de limpieza de sistema de barrajes?	Falta de mantenimiento Adecuado.
3	¿Por qué falta de mantenimiento adecuado?	Falta de seguimiento de frecuencia de mantenimiento preventivo adecuado.
4	¿Por qué falta de frecuencia de mantenimiento adecuado y seguimiento?	Falta de conocimiento.
5	¿Por qué falta de conocimiento?	Confusión en el diagnóstico y falta de trabajo en equipo

CAUSA RAÍZ: Variación de capa anódica por falla de maquina debido a falta de mantenimiento adecuado por falta de conocimiento, falta de trabajo en equipo y confusión en el diagnostico.

En la tabla 11 se analiza la causa “falta de dosificación por temperatura alta” está relacionado con la variación de concentración de ácido sulfúrico.

Tabla 11.- 5 ¿Por qué? Máquinas causa 1(falta de dosificación por temperatura alta) – efecto (variación de concentración de ácido sulfúrico)

PROBLEMA 2: VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué no se puede dosificar por temperatura alta?	Chiller presenta fallas
2	¿Por qué chiller presenta fallas?	Falta de mantenimiento adecuado
3	¿Por qué falta de mantenimiento adecuado?	Falta de repuestos.
4	¿Por qué falta de repuestos?	Falta de conocimiento y falta de gestión de compras.
5	¿Por qué falta de conocimiento y falta de gestión de compras?	Inversión alta en repuestos
<p>CAUSA RAÍZ: Variación de concentración de ácido sulfúrico debido a que no se puede dosificar ya que al dosificar se eleva la temperatura y por fallas del Chiller el proceso se descontrola por temperaturas elevadas y esto debido a falta de mantenimiento adecuado por falta de repuestos que no llegan debido a la deficiente gestión de compras y costos elevados</p>		

En la tabla 12 se analiza la causa “forma de dosificar no adecuada” está relacionado con la variación de concentración de ácido sulfúrico.

Tabla 12.- 5 Por qué? método causa 2 (forma de dosificar no adecuada) – efecto (variación de concentración de ácido sulfúrico)

PROBLEMA 2: VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué forma de dosificar no adecuada?	Se realiza dosificaciones manuales de alto impacto
2	¿Por qué se realiza dosificaciones manuales de alto impacto?	No se usa el sistema de dosificación automática
3	¿Por qué no se usa el sistema de dosificación automática?	Falta de conocimiento y Decisión
	¿Por qué falta de conocimiento y decisión?	No existe un manual de operación
	¿Por qué no existe un manual de operación?	

CAUSA RAÍZ: Variación concentración de ácido sulfúrico por no usar sistema de dosificación automático debido a la falta de conocimiento y la ausencia de un manual de operación

En la tabla 13 con la información previa del diagrama de causa efecto se analiza la causa “falta de capacidad del chiller” está relacionado con la variación de temperatura del proceso de anodizado.

Tabla 13.- 5 ¿Por qué? Máquina causa 1 (falta de capacidad del chiller) – efecto (variación de temperatura del proceso de anodizado)

PROBLEMA 3: VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL PROCESO DE ANODIZADO		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué falta de capacidad del chiller?	Chiller presenta fallas.
2	¿Por qué chiller presenta fallas?	Falta de mantenimiento Adecuado.
3	¿Por qué falta de mantenimiento adecuado?	Falta de repuestos.
4	¿Por qué falta de repuestos?	Falta de conocimiento y falta de gestión de compras.
5	¿Por qué falta de conocimiento y falta de gestión de compras?	Inversión alta en repuestos
CAUSA RAÍZ: Variación de temperatura por falta de capacidad del Chiller debido a falta de mantenimiento adecuado por falta de repuestos que no llegan debido a la deficiente gestión de compras y costos elevados de repuestos		

En la tabla 14 de la misma manera con la información previa se procede a analizar causa “descalibración frecuente de equipos” está relacionado con la variación de corriente eléctrica.

Tabla 14.- 5 ¿Por qué? Máquina causa 1(descalibración frecuente de equipos) – efecto (variación de corriente eléctrica)

PROBLEMA 4: VARIACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué des calibración frecuente de equipos?	Elementos de control electrónico averiados
2	¿Por qué elementos de control electrónico averiados?	Falta de mantenimiento preventivo
3	¿Por qué falta de mantenimiento preventivo?	Falta de repuestos tecnológicos.
4	¿Por qué falta de repuestos tecnológicos?	Falta de planificación y adquisición de repuestos
5	¿Por qué falta de planificación y adquisición de repuestos	Falta de conocimiento, de seguimiento y de existencia de repuestos en mercado nacional

CAUSA RAÍZ: Variación de corriente eléctrica por des calibración de equipos por falta de planificación y adquisición de repuestos debido a la falta de conocimiento, seguimiento y la ausencia de repuestos en el mercado nacional.

En la tabla 15 se muestra el análisis donde se menciona la causa “falla de grúa” está relacionado con la variación de tiempo de anodizado.

Tabla 15.- 5 Por qué? Máquina causa I(falla de grúas) – efecto (variación de tiempo de anodizado)

PROBLEMA 5: VARIACIÓN DE TIEMPO		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué fallas de grúas?	Grúas desubicadas, no levanta la carga o levanta mal y se activa protecciones
2	¿Por qué grúas desubicadas, no levanta la carga o levanta mal se activa protecciones?	Falla de elementos electrónicos y mecánicos
4	¿Por qué falla de elementos electrónicos y mecánicos?	Falta de mantenimiento preventivo
5	¿Por qué falta de mantenimiento preventivo	Programas de producción extendidos por incumplimiento, falta de planificación y adquisición de repuestos
6	¿Por qué falta de planificación y adquisición de repuestos	
<hr/> <p>CAUSA RAÍZ: Variación de tiempo por falla de grúas por falta de planificación de Mantenimiento preventivo y adquisición de repuestos, generado por falta de tiempo por programas de producción extendidos debido al incumplimiento de planes de producción.</p> <hr/>		

En la tabla 16 finalmente se muestra el análisis de la relación entre la causa “proceso lento obliga hacer trabajos en manual” y como está relacionado con la variación de tiempo de anodizado.

Tabla 16.- 5 ¿Por qué? Método causa 2 (proceso lento obliga hacer trabajos en manual) – efecto (variación de tiempo de anodizado)

PROBLEMA 4: VARIACIÓN DE TIEMPO		
	POR QUÉ	RESPUESTA
1	¿Por qué proceso lento obliga hacer trabajos en manual?	Proceso automático no abastece suficientes cargas
2	¿Por qué proceso automático no abastece suficientes cargas?	Limitación de tiempos y movimientos por programación de grúas.
3	¿Por qué limitación de tiempos y movimientos por programación de grúas?	Reprocesos y mala calidad del material extruido obligan hacer procesos manuales
4	¿Por qué reprocesos y mala calidad del material extruido obligan hacer procesos manuales?	Para mejorar la calidad del producto terminado o reprocesar material se hace procesos diferentes que solo procede manualmente
5	¿Por qué para mejorar la calidad del producto terminado o reprocesar materiales se hace procesos diferentes que solo procede manualmente	

CAUSA RAÍZ: Variación de tiempo por realizar procesos manuales debido a la gran cantidad de reproceso y a la mala calidad del material, obliga a realizar procesos manuales para mejorar la calidad del producto terminado

4.1.3 Desarrollo de la etapa mejorar

En esta etapa se toman decisiones frente a los problemas detectados con los análisis de causa y efecto, en la etapa analizar se detectaron diferentes causas las cuales puede ser intervenidas de inmediato para lograr mejorar el proceso.

Para el caso de variación de capa anódica por falta de calibración de equipos se detectó que falta información de la tecnología usada para elaborar manuales y generar conocimiento para calibrar equipos, por lo que se procede a elaborar un procedimiento para dar seguimiento al comportamiento de los equipos, posterior a esto se elabora un manual donde contiene el procedimiento de como calibrar los equipos de acuerdo al alcance del personal de planta y se establece diálogo con los proveedores internacionales de la tecnología para brindar soporte técnico.

En la etapa de análisis se encontró equipos de control que no funcionan correctamente y que no se pueden calibrar, por lo que fue necesario dejar de usar y generar la necesidad de reemplazar los equipos averiados gestionando con el proveedor de dicha tecnología.

Se determinó que existe fallas en las unidades de proceso de anodizado, debido a falta de mantenimiento adecuado por falta de conocimiento, falta de trabajo en equipo y confusión en el diagnóstico, durante este estudio se evidencio la falta de limpieza de cátodos y ánodos desde la salida de rectificadores, se encontró puntos calientes en las uniones de los barrajes que conducen

la corriente por lo que se procedió a realizar un mantenimiento de cátodos y ánodos dentro y fuera de las cubas electrolíticas evidenciando en lo posterior un comportamiento adecuado lo que permitió calibrar los controles automáticos de mejor manera y contribuir a una capa anódica de mejor calidad.

Al analizar la variación de capa anódica por falta de homogenización, se determina que existe falta de homogenización por falta de capacidad instalada debido a la falta de conocimiento y falta de decisión en la inversión, se realiza una nueva instalación de un sistema de agitación con aire, abastecido por un blower industrial, lo que permite obtener una mejora significativa del proceso en cuanto a homogeneidad del espesor de la capa anódica en todos los perfiles de una misma carga.

Aquí se logra disminuir la variación del espesor de capa anódica entre los perfiles de la carga de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, así como también aporta a la homogenización de la temperatura de los tanques de anodizado, atacando varios problemas con la instalación de un sistema de agitación por aire que permita mantener estable y homogénea la concentración química, la temperatura y por ende la formación de la capa de óxido de aluminio, generando un alivio para el equipo de enfriamiento, el mismo que en el análisis previo se detecta una falta de capacidad, sin embargo con los cambios realizados en el sistema de agitación sumado al mantenimiento preventivo y correctivo, cambio de partes en el chiller se observa una disminución de paras por temperatura elevada.

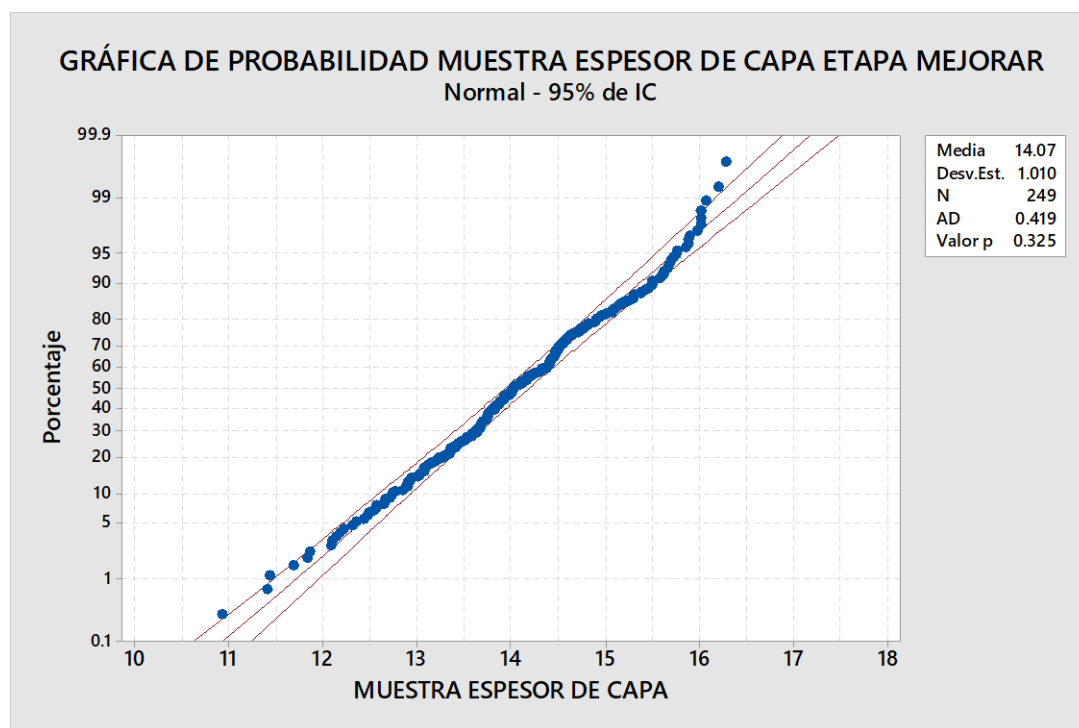
En cuanto a la variación de tiempo por falla de grúas se continúa realizando trabajos de mejora sin embargo aún existen pendientes por analizar, debido a la disminución de la demanda de perfiles anodizados se suspende un turno de producción por día para realizar trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo en grúas.

En cuanto al uso manual de grúas disminuye parcialmente debido a la disminución de reproceso, aun se realiza movimientos manuales para procesar perfiles especiales o con problemas de calidad asignados a la extrusión o la materia prima.

4.1.3.1 Gráfico de prueba de normalidad de datos de espesor de capa anódica de enero a marzo del 2022

A continuación, en la figura 31 se presenta un gráfico de prueba de normalidad para evidenciar que los datos de espesor de capa anódica de enero a abril del 2022 presentan una distribución normal y es factible continuar con el análisis.

Figura 31. Prueba de normalidad espesor de capa anódica de enero a abril 2022



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

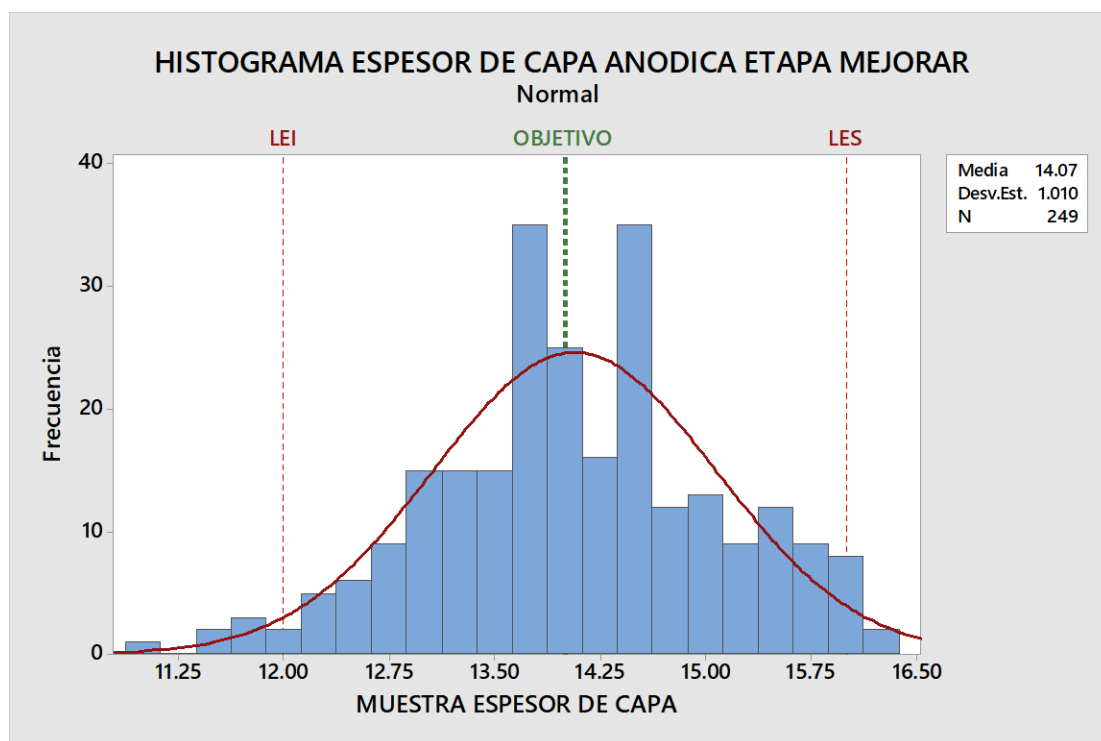
Elaborado por: El Autor

4.1.3.2 Histograma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022

En el histograma figura 32 se puede evidenciar una distribución con una media de 14.07 micras y una desviación estándar de 1.010, aquí se evidencia que el aislamiento de dos unidades de proceso en mal estado, la calibración de los otros equipos, la implementación del sistema de agitación para homogenizar la solución electrolítica, así como la limpieza y mantenimiento de

barrajes (cátodos y ánodos) se logra centrar el proceso y disminuir la variación, ya que la media esperada es de 14 micras. En este caso el producto elaborado bajo estas condiciones esta con un espesor de capa esperado, dando una protección adecuada y funcional a los perfiles de aluminio lo que garantiza un buen comportamiento en la siguiente etapa del proceso que es la coloración.

Figura 32. Histograma espesor de capa anódica de enero a abril del 2022



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

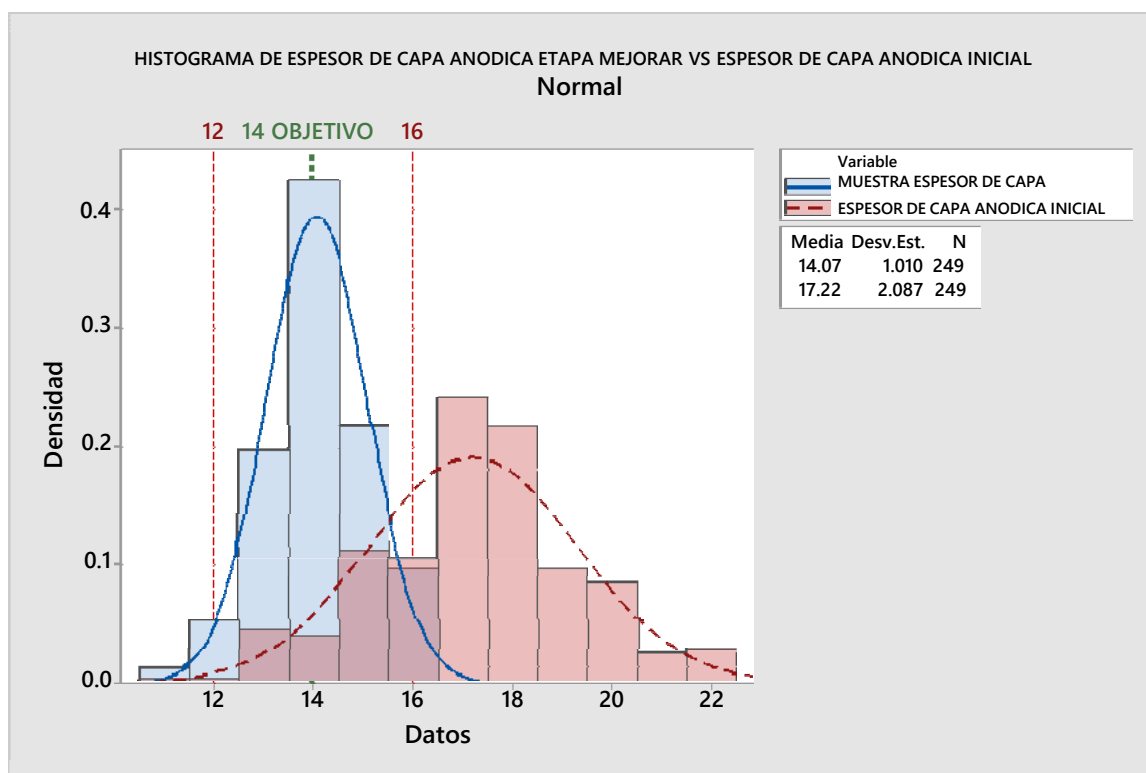
Elaborado por: El Autor

4.1.3.3 Gráfico comparativo de espesor de capa de óxido en la etapa inicial enero a junio 2021 vs espesor de capa de óxido de aluminio en la etapa de mejorar de enero a abril del 2022

En el histograma combinado de la figura 33, se puede evidenciar dos distribuciones de datos, las mismas que representan mediciones reales de espesor de capa de óxido de aluminio, a la izquierda la curva que representa a los datos después de la mejora de enero a abril del 2022 y a

la derecha los datos iniciales de enero a junio del 2021, el objetivo es una media de 14 micras de espesor de capa anódica y es justamente lo que se logra obtener después de realizar los cambios, instalaciones, mantenimientos e inhabilitación de equipos descalibrados. Se logra pasar de una media de 17.22 con una desviación estándar de 2.087 a un espesor medio de 14.07 con una desviación estándar de 1.010, en este caso el producto elaborado bajo estas condiciones esta con un espesor de capa esperado, dando una protección adecuada y funcional a los perfiles de aluminio lo que garantiza un buen comportamiento en la siguiente etapa que es la coloración.

Figura 33. Histograma de espesor de capa anódica etapa mejorar de enero a abril 2022 vs espesor de capa anódica inicial de enero a junio del 2021



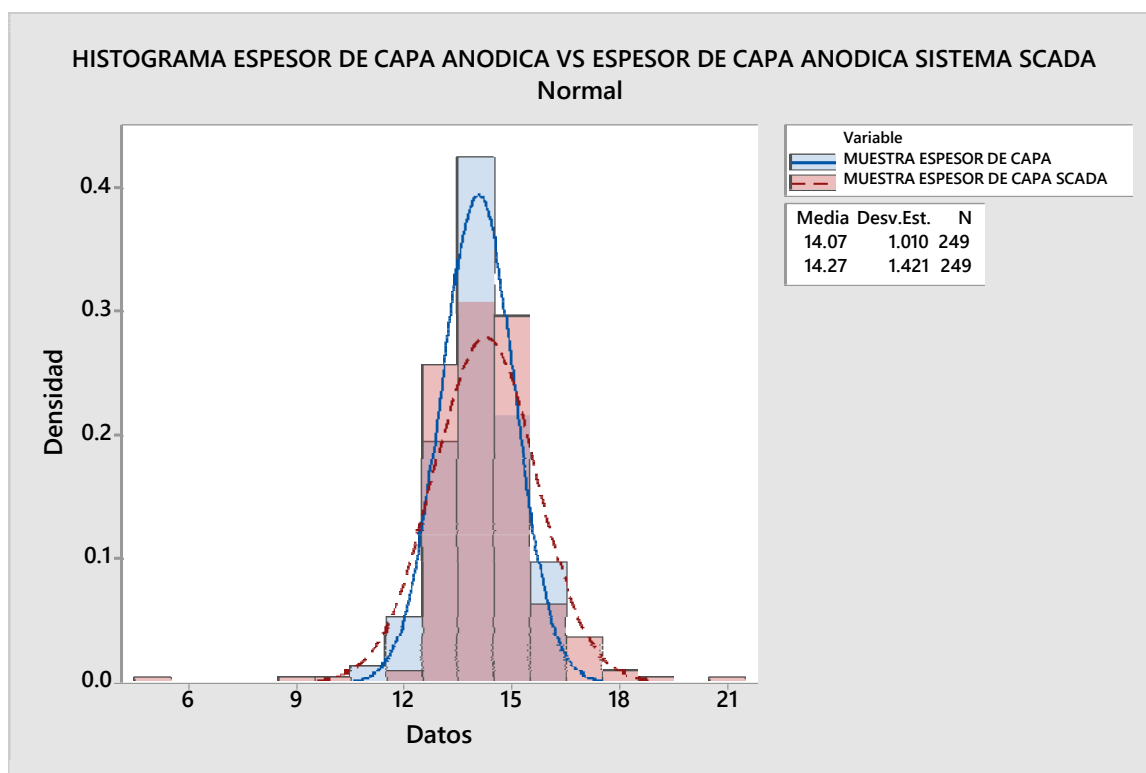
Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.3.4 Gráfico comparativo de espesor de capa de óxido de aluminio registrado por el sistema scada vs. espesor de capa de óxido de aluminio medido por personal de control de calidad de enero a abril 2022 en la etapa de mejora.

En la figura 34 se presenta gráficamente los resultados de enero a abril del 2022, después de realizar las mejoras en el proceso, aquí se muestra un histograma combinado con dos distribuciones, con azul la distribución de datos de espesor de capa de óxido de aluminio medidos por personal de control de calidad y con rojo la distribución de datos que registra el sistema scada, aquí se demuestra cómo se retoma el control del proceso, donde los datos medidos de espesor de capa poseen una media de 14.07 micras y una desviación estándar de 1.010 y el sistema scada registra datos de salida con una media de 14.27 micras y una desviación estándar de 1.421, conociendo que el objetivo establecido es 14 micras. Lo que nos permite evidenciar claramente que el proceso está centrado, se retoma el control del proceso, se observa que los datos están dentro de los límites de especificación.

Figura 34. Histograma de espesor de capa anódica de enero a abril 2022 etapa mejorar vs espesor de capa anódica sistema scada de enero a abril 2022.



Fuente: Planta de Anodizado de perfiles de Aluminio

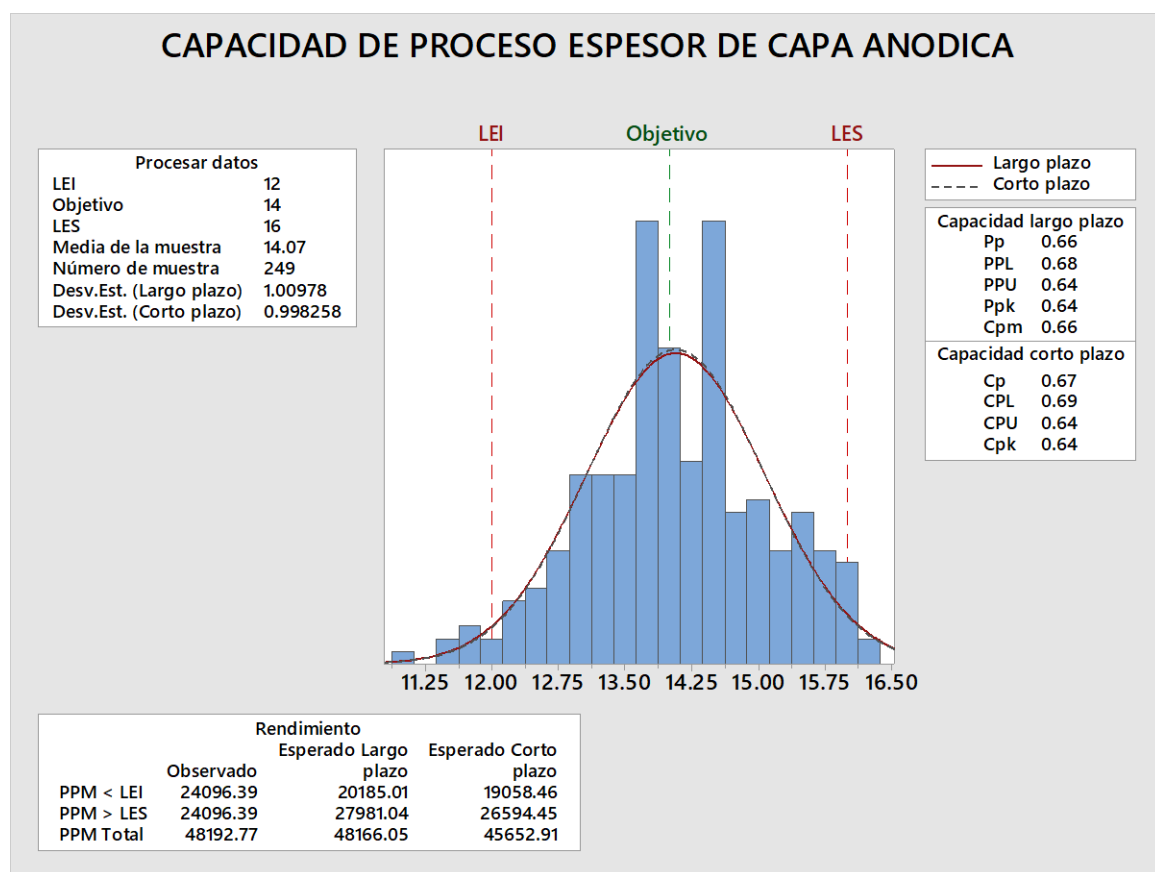
Elaborado por: El Autor

4.1.3.5 Gráfico de capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022

La capacidad general del proceso a largo plazo señalada en la figura 35 a través del indicador a largo plazo Pp 0.66 y Ppk 0.64, provee información de que el proceso no es capaz, debido a que Pp está por debajo de 1.33 y Ppk está por debajo de 1. A corto plazo el Cp es de 0.67 y el Cpk es de 0.64, los datos nos señalan que el proceso está centrado, pero aún no es capaz de operar dentro de las especificaciones.

El rendimiento del proceso en los datos observados nos evidencia un total de 48192.77 ppm de defectos, el rendimiento esperado a largo plazo o defectos por millón de oportunidades es de 48166.05 ppm, lo que nos permite pronosticar que en estas condiciones del proceso por cada millón de oportunidades se puede tener 48166.05 defectos.

Figura 35. Capacidad de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril de 2022



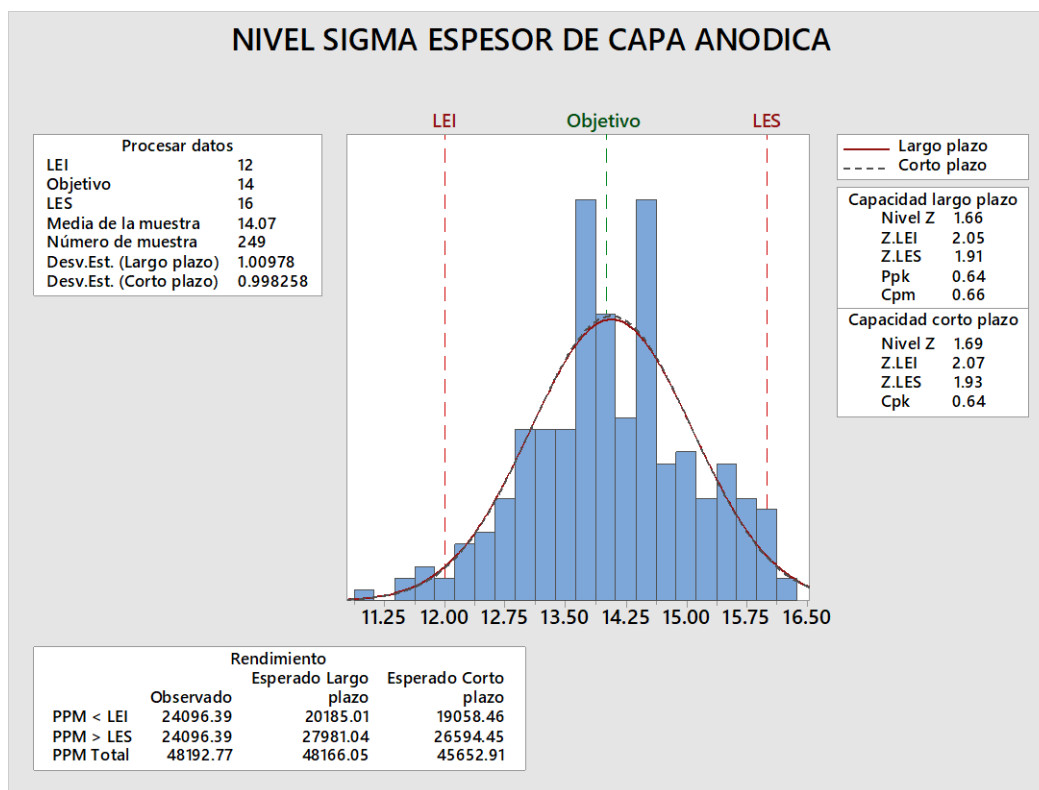
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.3.6 Gráfico de nivel sigma de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022

En la figura 36, se muestra información del nivel sigma, como nivel Z 1.66, lo que indica que aún hay mucho por mejorar, bajo este nivel sigma el proceso aún presenta grandes oportunidades de mejora. A pesar de haber logrado una mejora significativa al pasar de un nivel Z de -0.60 a un nivel Z de 1.66 , lo que permite mejorar el rendimiento a largo plazo y pasar de 726542.78ppm a 48166.05 ppm de oportunidades.

Figura 36. Nivel sigma espesor de capa anódica de enero a abril del 2022



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

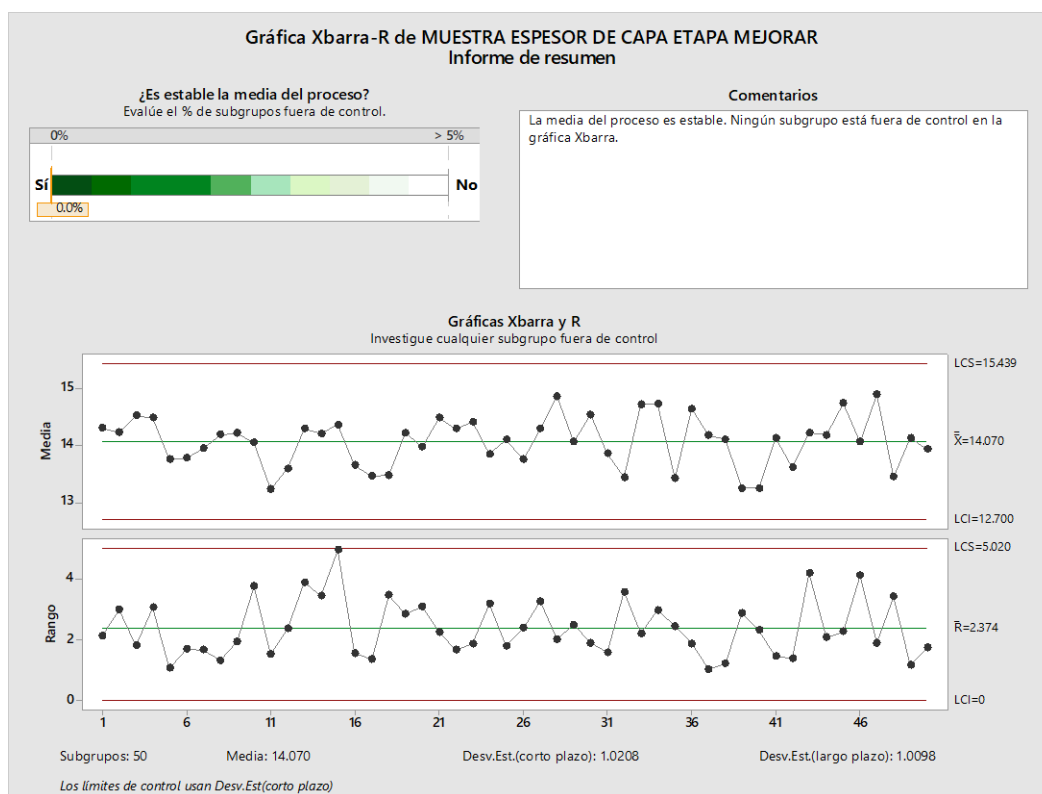
Elaborado por: El autor

4.1.4 Desarrollo de la etapa controlar

4.1.3.7 Gráfico de control estadístico de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio de enero a abril del 2022.

En la figura 37 se muestra una gráfica de medias y rangos, donde se evidencia que la variación del proceso está bajo control, ningún dato está fuera de control y todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control.

Figura 37. Control estadístico de proceso de espesor de capa de óxido de aluminio después de implementación de mejoras enero a abril 2022



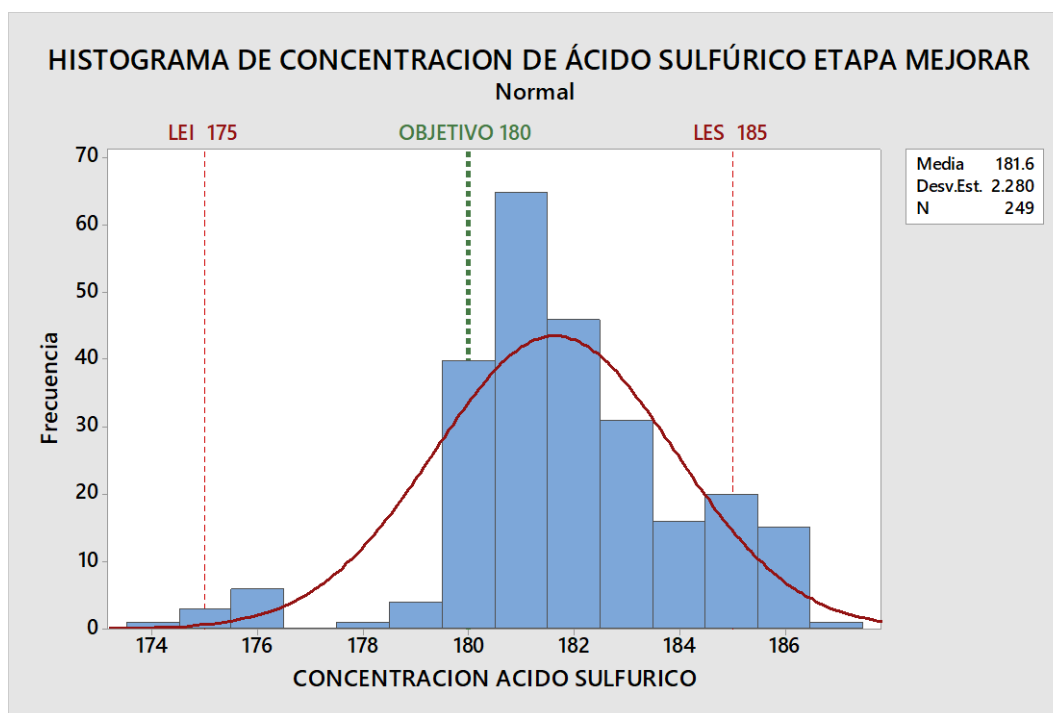
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.3.8 Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a abril 2022 etapa controlar.

En esta etapa se dispone por autoridad superior pasar a una concentración media de 180 +/- 5 g/l, en la figura 38 se presenta los datos analizados en este periodo donde muestran una media de 181.6 con una desviación estándar de 2.28. durante esta etapa se realiza correcciones en líneas de dosificación automática, rehabilitación de bombas, desarrollo y capacitación para utilizar el sistema de dosificación automático, lo que permite disminuir las dosificaciones de alto impacto que generaba efectos colaterales en la temperatura del proceso, en la concentración de ácido sulfúrico y por ende en el producto terminado.

Figura 38. Histograma de concentración de ácido sulfúrico de enero a abril del 2022



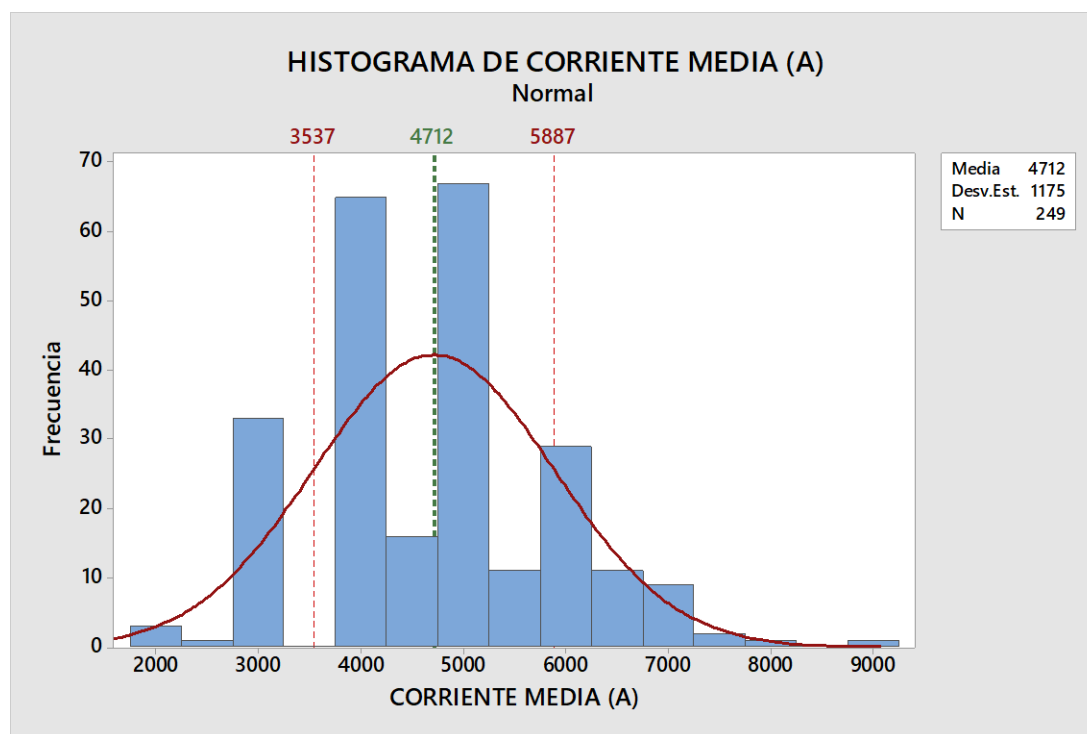
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El Autor

4.1.3.9 Histograma de corriente media del proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa mejorar.

En la figura 39 se muestra datos de corriente media (Amperios) almacenados por el sistema scada, esta corriente es emitida de acuerdo con el tamaño de carga y es directamente proporcional, a mayor tamaño de carga mayor corriente, los datos nos indican una media de 4712, con una desviación estándar de 1175 A. Aquí se tomaron acciones para mitigar defectos, los cuales afectaron el tamaño de carga y por lo tanto se puede observar que el consumo de amperios disminuye comparativamente respecto del inicio de este estudio.

Figura 39. Histograma de corriente media del proceso de anodizado de enero a abril 2022



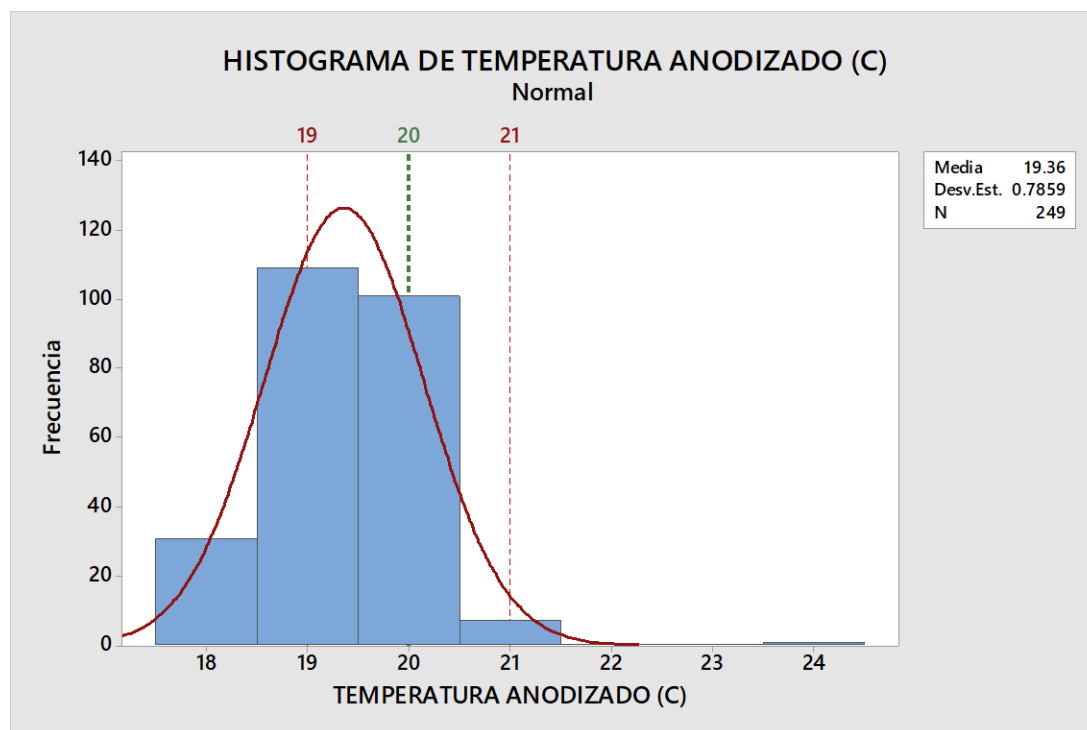
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.3.9 Histograma de temperatura de proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa mejorar

En la figura 40 se muestra datos de temperaturas que almacena el sistema de manera automática, aquí los datos son registrados de acuerdo con las cargas que son procesadas, las condiciones de operación son 20 ± 1 , los datos analizados nos indican una media de 19.36 con una desviación estándar de 0.78.

Figura 40. Histograma de temperatura de proceso de anodizado de enero a abril 2022



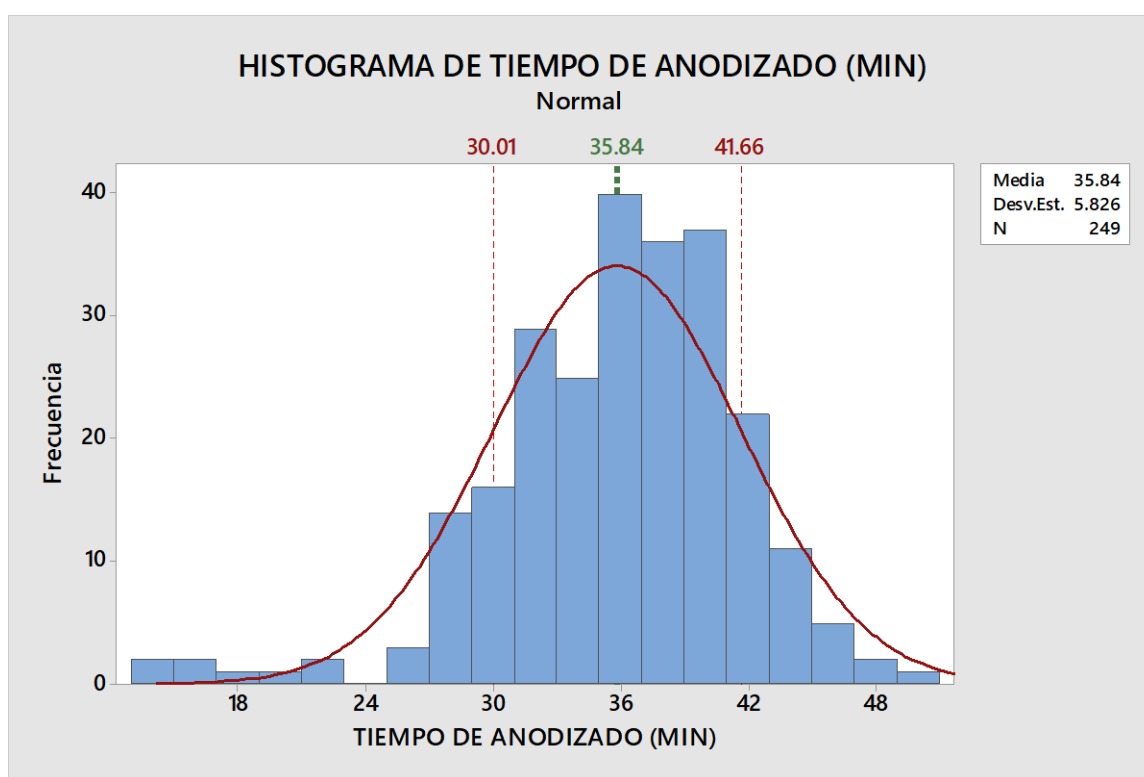
Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

4.1.3.10 Histograma de tiempo de proceso de anodizado de enero a abril 2022 etapa mejorar.

En la figura 41 se observa un histograma de tiempos de proceso de anodizado, con una media de 35.84 minutos y una desviación estándar de 5.826. este tiempo es calculado de forma automática por los equipos y de acuerdo con el acabado y la receta almacenada en el software de control.

Figura 41. Histograma de tiempo de proceso de anodizado de enero a abril 2022



Fuente: Planta de anodizado de perfiles de aluminio

Elaborado por: El autor

CONCLUSIONES

Se realizó un diagnóstico de la situación actual del proceso de anodizado de perfiles de aluminio al inicio de este estudio, estableciendo el espesor de capa de óxido de aluminio del acabado bronce oscuro (04) como población de estudio y se determina que los parámetros de proceso involucrados son, concentración química, temperatura, corriente eléctrica y tiempo.

Para el caso del espesor de capa anódica medido por personal de control de calidad, se evidencia una distribución con una media de 17.22 micras y una desviación estándar de 2.087, aquí se detecta que la mayoría de los datos están fuera de especificación, ya que la media esperada es de 14 micras. La capacidad general del proceso señalada a través del indicador a largo plazo Pp es 0.32 y Ppk -0.19, lo que nos provee información de que el proceso no es capaz, debido a que Pp está por debajo de 1.33 y Ppk está por debajo de 1, a corto plazo el Cp es de 0.45 y el Cpk es de -0.27 evidenciando que el proceso no está centrado, por lo que el proceso está fuera de control y el proceso no es capaz de operar dentro de las especificaciones. El nivel sigma, como nivel Z -0.60 indica que hay mucho por mejorar, bajo este nivel sigma el proceso está totalmente fuera de control.

Los datos de espesor de capa anódica registrados automáticamente por el sistema SCADA para el acabado bronce oscuro muestran una media de 14,27 con una desviación estándar de 1.42, esta información evidencia que no coincide las mediciones físicas con las mediciones automáticas almacenadas por el sistema SCADA.

En el caso de los parámetros del proceso se analizó la concentración de ácido sulfúrico, la información fue registrada por el laboratorio y en este caso, las especificaciones de proceso son 170 +/- 5 g/L, los datos muestran una media de 169.83 g/L con una desviación estándar de 1.86. La temperatura de proceso medida en grados centígrados registrada por un sistema de control automático muestra una media de 19.67 °C con una desviación estándar de 0.536, las condiciones de operación son 20 +/- 1 °C, El siguiente parámetro que se analizó fue la corriente eléctrica media

(medida en Amperios) almacenados por el sistema SCADA, esta corriente es emitida de acuerdo con el tamaño de carga y es directamente proporcional, a mayor tamaño de carga mayor corriente, los datos señalan una media de 5165 A. Y por último el parámetro analizado fue el tiempo de proceso de anodizado, esta distribución de datos muestra una media de 36.43 minutos y una desviación estándar de 8.024, este tiempo es calculado de forma automática por los equipos y de acuerdo con el acabado y la receta almacenada en el software de control.

Se estableció las herramientas de análisis de acuerdo con la metodología six sigma, siguiendo la metodología DMAIC, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

En la etapa definir a través del Project charter se estableció el punto de partida donde ya se plantea una descripción breve del problema que enmarca las variaciones en el proceso y en el producto terminado, se identifica las variables que serán analizadas en el estudio como son espesor de capa de óxido de aluminio y los parámetros que intervienen en el proceso de anodizado concentración química, temperatura, corriente eléctrica y tiempo, usando la herramienta voz del cliente y Ctg's se define a nuestros clientes internos al personal de empaque, control de calidad, y control de la producción y finalmente con la información obtenida que son los requerimientos del cliente interno se elabora el diagrama de KANO donde se establece que los clientes internos requieren perfiles de aluminio con un aspecto homogéneo, que cumpla con el espesor de capa anódica establecida, de esta información se fortaleció la intención de esta investigación ya que la necesidad de un producto de aspecto homogéneo va relacionado con una capa de óxido de aluminio bien conformada.

En la fase medir se elaboró un mapa de proceso de anodizado de perfiles de aluminio, para identificar la etapa del proceso que será estudiada y sobre todo la que genera la problemática actual, se establece el plan de recolección de datos considerando el acabado bronce oscuro, cuya

especificación de espesor de capa anódica es 14 micras, y los parámetros de proceso concentración de ácido sulfúrico (g/l), temperatura (°C), corriente eléctrica (A) y tiempo de proceso (min). Usando el software minitab, se realizan los análisis estadísticos de las variables planteadas, para el caso del espesor de capa anódica se muestra gráficamente en histogramas, se calcula la capacidad general del proceso y el nivel sigma, para el caso de los parámetros del proceso, con el software minitab se realiza histogramas y se realiza cálculos estadísticos evidenciando principalmente medias y desviación estándar

Para la etapa analizar se compara gráficamente a través de un histograma combinado el espesor de capa registrado por el sistema SCADA y los datos medidos por el personal de control de calidad. Con el soporte de la herramienta lluvia de ideas y junto con el equipo de producción se registra las causas potenciales de la variabilidad y la desviación tanto en el espesor de capa anódica como en los parámetros del proceso, posterior a esto utilizando la herramienta diagrama de Ishikawa en conjunto con la metodología de las 6 M (Máquina, Método, Medio ambiente, Mano de Obra, Material, Mediciones). y la herramienta 5 por qué? se logra identificar las principales causas de variación del espesor de la capa de óxido de aluminio y de los parámetros del proceso.

Para el desarrollo de la etapa mejorar se logró detectar dos unidades de proceso averiadas las mismas que fueron aisladas, se rehabilito, capacito y elaboro un manual de dosificación para usar dosificación automática controlada, se implementó un sistema de agitación para homogenizar la solución electrolítica en toda la etapa de anodizado, así como la limpieza y mantenimiento de barrajes (cátodos y ánodos) y finalmente se logra calibrar los equipos, se da seguimiento con mediciones de espesor de capa anódica de enero a abril del 2022 y mediante software minitab se estudia la información, para el caso del espesor de capa anódica se muestra gráficamente en histogramas, se calcula la capacidad general del proceso y el nivel sigma, para el caso de los

parámetros del proceso, con el software minitab se realiza histogramas y se realiza cálculos estadísticos evidenciando principalmente medias y desviación estándar.

Para la etapa controlar, usando software minitab se analiza a través de un gráfico de medias y rangos el comportamiento del espesor de capa anódica

Finalmente, para el caso del espesor de capa anódica se concluye con una mejora donde se logra centrar el proceso y disminuir la variabilidad, la media esperada es de 14 micras, con el muestreo realizado de enero a abril del 2022 después de la implementación de mejoras, usando las herramientas de análisis con el software minitab se concluye que la distribución de datos de espesor de capa anódica tiene una media de 14.07 con una desviación estándar de 1.010

Los datos analizados después de la etapa mejorar de enero a abril del 2022, muestran una capacidad general del proceso a través del indicador a largo plazo Pp 0.66 y Ppk 0.64, a corto plazo el Cp es de 0.67 y el Cpk es de 0.64, el proceso aun no es capaz, pero se logra centrar el proceso y disminuir la variabilidad del espesor de capa anódica. El rendimiento del proceso en los datos observados de enero a abril del 2022 nos evidencia un total de 48192.77 ppm de defectos.

El Nivel Sigma de los datos de enero a junio del 2022, como Nivel Z 1.66 se observa un nivel sigma superior a la inicial.

Durante las necesidades de mejorar por autoridad superior se dispone a pasar a una concentración media de 180 ± 5 g/L, los datos analizados en este periodo muestran una media de 181.6 g/L con una desviación estándar de 2.28. durante esta etapa se realiza correcciones en líneas de dosificación automática, rehabilitación de bombas, desarrollo y capacitación para utilizar el sistema de dosificación automático, esto permite disminuir las dosificaciones de alto impacto que generan efectos colaterales en la temperatura del proceso, en la concentración de ácido sulfúrico y por ende en el producto terminado.

En el caso del parámetro de corriente eléctrica en el periodo de mejora de enero a abril del 2022 los datos señalan una media de 4712, con una desviación estándar de 1175 A. Aquí se tomaron acciones para mitigar defectos, los cuales afectaron el tamaño de carga y por lo tanto se puede observar que el consumo de amperios disminuye comparativamente respecto del inicio de este estudio.

Para el caso de tiempos de proceso de anodizado durante la etapa de mejora de enero a junio del 2022 se registran tiempos de proceso de anodizado, con una media de 35.84 minutos y una desviación estándar de 5.82.

Y finalmente las condiciones de operación en cuanto a temperatura de proceso son 20 ± 1 , la distribución de datos durante la etapa de mejora presenta una media de $19.36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ con una desviación estándar de 0.78.

RECOMENDACIONES

Se recomienda sostener el control estadístico de espesor de capa anódica medido físicamente para mantener el control y tomar acciones de mantenimiento, calibración o aislamiento de equipos que fallan.

Es recomendable implementar procedimientos claros para la dosificación de ácido sulfúrico de manera automática, para evitar dosis de alto impacto que afectan al equilibrio general del proceso.

Es recomendable implementar proyectos de mejora para asegurar la homogenización del electrolito en las cubas de anodizado, aquí intervienen variables de concentración y temperatura así se garantizará que la capa de óxido de aluminio sea uniforme a lo largo del perfil y en todos los perfiles de una carga, asegurando la repetitividad y reproducibilidad de los productos.

Se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo de limpieza total de cátodos, tomando en consideración desde la salida de los rectificadores hasta las instalaciones internas de la cuba electrolítica, al menos una vez al año a cada unidad de proceso, para asegurar que no exista caídas de densidad de corriente y de esa manera se pierda eficiencia en el proceso de anodizado.

Se recomienda realizar limpiezas y mantenimientos periódicos de rectificadores, con el fin de mantener en buenas condiciones los equipos eléctricos que son la base principal del proceso de anodizado y mantener un stock de repuestos críticos que permita reemplazar partes cuando sea necesario.

Se recomienda a los encargados del proceso verificar y dar seguimiento al comportamiento de las cubas de anodizado, siguiendo los parámetros eléctricos, químicos y físicos, midiendo y observando el comportamiento del aluminio en cada punto de control establecido.

Se recomienda realizar proyectos six sigma en otras etapas del proceso con el objeto de disminuir variaciones, mejorar el proceso y disminuir no conformes.

Referencias bibliográficas:

- Adam, E. E., & Ebert, R. J. (1991). *Administración de la producción y las operaciones: Conceptos, modelos y funcionamiento*. Pearson Educación.
- Alaya, A., & Quatrebarbes, A. (s. f.). *El Método Seis Sigma: Mejore Los Resultados de Su Negocio*
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708/lib/upsal/reader.action?docID=5335778&query=control+estadistico+de+la+calidad>
- Alba, M. (2005). *Muestreo estadístico*.
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/35263?page=61>
- Alter, L. b. (2003). *Corrosión y protección*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Cosialls, L. S. (2005). *Análisis Estadístico mediante aplicaciones informáticas*. . Barcelona: Edicions Universitat Barcelona.
- Delers, A. (2016). *El principio de Pareto: Optimice su negocio con la regla del 80/20*. 50 minutos.es.
- George, E. (2006). *El Six Sigma para todos*. New Jersey: Editorial Norma.
- GT Especificaciones Pascale Bellot (2019). *Especificaciones concernientes a la marca de calidad para los revestimientos por termolacado (líquido o polvo) del aluminio destinado a la arquitectura*. Código de documento SPEC-QCT-16. Aprobado por Comité Ejecutivo.
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Editorial Brujas.
- González, F. G. A. (2003). *Seis Sigma para Gerentes y directores*. LibrosEnRed.
- González, F. J. (2007). *Introducción a la Gestión de Calidad*. Madrid: Delta Publicaciones Universitarias.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2007). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Herrera Acosta, R. J. (s. f.). *Biblioteca UPS—Seis Sigma: Un enfoque práctico*. Recuperado 18 de noviembre de 2021, de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/71196>

Hufnagel, W. (1992). *Manual del aluminio*. Reverte.

Lefcovich, M. (2009). *Seis Sigma «Hacia un nuevo paradigma en gestión»*. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/28590?page=10>

Martínez, J. (2013). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Mayoral, M. A. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*. Alicante: Universidad Miguel Hernández de Elche.

Ortega, O. (2017). *Mejoramiento continuo de procesos: Aspectos conceptuales*. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/70312>

Pacheco, J. (s. f.). *Proyectos Seis sigmas: El camino a la excelencia operacional*. Recuperado 22 de mayo de 2021, de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/111454?page=15>

Pande, P. S. (2002). *Las claves de seis sigmas: La implantación con éxito de una cultura que revoluciona el mundo empresarial*. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/50039>

Pinto, T. J. G., Moreno, J. D. M., Restrepo, B. P., & Vargas, J. S. V. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico para la comunidad indígena Pijao ubicada en el resguardo Pocharco*. 49.

Socconini, L. (2020). *Lean six sigma green belt*. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/172850>

Socconini, L., & Escobedo, E. (2021). *Lean Six Sigma green belt: Paso a paso.*

<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/172966>

Vergara, A. (2010). *Influencia de las variables de operación del proceso de anodizado del aluminio sobre el comportamiento anticorrosivo de la película de óxido de aluminio.*