



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Aplicación de la metodología Six Sigma para disminuir el
porcentaje de reprocesos en el área de Anodizado de una
planta productora de perfiles de aluminio”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentado por:

Janio Wagner Cayambe Grefa

Guayaquil – Ecuador

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud primeramente a Dios, quien me colmó de bendiciones.

A la miss Sofía, quien con su acompañamiento hizo posible la culminación de este proyecto de titulación y de igual manera a todos los integrantes de la FIMCP.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mi madre Patricia, mi padre Isidro, mi hermosa hija Samy y a toda mi familia que de una u otra manera siempre estuvieron apoyándome en esta nueva etapa.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ángel Ramírez M., Ph.D.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

Sofía López I., MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

Marcos Buestán B., Ph.D.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Janio Wagner Cayambe Grefa

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se realizó en el área de Anodizado de una empresa productora de perfiles de aluminio ubicado en la ciudad de Durán, una de las problemáticas que aqueja constantemente a la empresa es el elevado porcentaje de reproceso, mediante la aplicación de la metodología Dmaic se redujo dicho porcentaje del 7% a valores menores al 4% de reproceso

La recolección de datos para este presente proyecto de titulación empezó desde enero del 2020 con la creación de la base de datos donde se especificó el tipo de defecto que genera la no conformidad, sin embargo, el proyecto como tal se desarrolló desde julio del 2020 con la etapa definir, en la cual se establecieron varios puntos importantes como: el equipo de trabajo, presupuesto, objetivos entre otras.

La segunda etapa de la metodología corresponde a medir, en esta etapa se analizó la data recolectada inicialmente teniendo como resultado que, 3 de los más de 20 defectos que podría presentar un perfil de aluminio son los que están generando el 79,9% de reproceso, motivo por el cual el proyecto se enfocó solo en estos 3 defectos los cuales son: mal decapado, chorreado y claras.

Siguiendo con la metodología la tercera etapa corresponde a analizar, se estudió la capacidad de proceso de cada una de las variables que influyen en los defectos antes mencionados, después del respectivo análisis se descartó variables como temperatura y concentración debido a su gran estabilidad y capacidad.

En la cuarta etapa se analizó las soluciones planteadas la etapa anterior, mismas que fueron analizadas en una matriz de esfuerzo beneficio, la implementación de las soluciones se enfocaron en las soluciones que supondrían un gran beneficio al proceso y que su ejecución conlleve bajo esfuerzo, sin embargo, conjuntamente con la autorización del Champion del proceso se implementaron soluciones de gran esfuerzo que conlleven grandes beneficios de igual manera.

La quinta y última etapa de la metodología Dmaic es la etapa de control, en esta etapa se implementaron planes de control, se estandarizó procesos y procedimientos, con el objetivo de mantener los resultados alcanzados hasta el momento, tales como reducción del porcentaje de reproceso hasta 3,43%, de igual manera se redujo el costo de producción por tonelada hasta 778 dólares/ton.

Finalmente, el capítulo seis contiene las recomendaciones y conclusiones, de las cuales se resalta el apoyo a nuevos proyectos de mejora, con el objetivo de seguir mejorando como área y como organización.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
INDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGÍA	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivo Especifico	6
1.4. Justificación del estudio.....	6
1.5. Alcance del proyecto	9
1.6. Estructura del proyecto.....	9
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEORICO	11
2.1. Historia del Six sigma	11
2.2. Definición de Six sigma	12
2.3. Herramientas básicas para Six sigma	15
2.4. Selección de un proyecto Six sigma	19
2.5. Etapas de un proyecto Six sigma	21
CAPÍTULO 3	
3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	25
3.1. Inicios de la organización	25
3.2. Descripción del Procesos Productivo	27
3.3. Área de anodizado	28

3.3.1. Enraque.....	29
3.3.2. Limpieza.....	30
3.3.3. Anodizado.....	31
3.3.4. Electro coloración.....	34
3.3.5. Sellado.....	35
3.3.6. Desenrraque.....	36

CAPÍTULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	38
4.1. Definir.....	38
4.2. Medir.....	38
4.2.1. Plan de recolección de datos.....	46
4.2.2. Instrumentos de medición.....	48
4.2.3. Revisión de mediciones de muestras por operador y naturales.....	51
4.3. Analizar.....	56
4.3.1. Verificación de causas raíces.....	74
4.4. Mejorar.....	77
4.4.1. Implementación de mejoras.....	79
4.4.2. Comprobación de mejora.....	91
4.5. Control.....	100
4.5.1. Herramientas de control.....	100

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS.....	105
5.1. Reducción del porcentaje de reproceso.....	105
5.2. Costo de producción.....	106

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
6.1. Conclusiones.....	109
6.2. Recomendaciones.....	110

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

Mf	Mill Finish
Sipoc	Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes
Ctq	Críticos de calidad
GE	General electric
Ceo	Director ejecutivo
Dpmo	Defectos por millón de oportunidades
Iso	Organización Internacional de Normalización
Ohsas	Sistema de gestión de la salud y seguridad ocupacional
Amef	Análisis modo y efecto de fallo
Cedis	Centros de distribución
Vsm	Mapa de flujo de valor
Erp	Planificación de recursos empresariales
Op1	Operador 1
Anova	Análisis de varianza
Ad	Estadístico Anderson Darling
Lci	Limite de control inferior
Lcs	Limite de control superior
Npr	Numero prioritario de riesgo
Sev	Severidad
Ocu	Ocurrencia
Det	Determinable
Wip	Trabajo en proceso

SIMBOLOGÍA

Kg	Kilogramos
H	Hora
ton	Tonelada
°C	Grados centígrados
T°	Temperatura
H ₂ O	Agua
H ₂	Gas hidrógeno
CC	Corriente continua
SnSO ₄	Sulfato de estaño
μ	Micras
\bar{x}	Media
gr	Gramos
lt	litros
m ²	Metros cuadrados
\$	Dólares

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Serie de tiempo de histórico de reproceso	5
Figura 1.2 Rechazo según su procedencia	7
Figura 1.3 Diagrama sipoc.....	9
Figura 2.1 Ejemplo de un diagrama ishikawa.....	16
Figura 2.2 Ejemplo de sipoc	17
Figura 2.3 Secuencia para realizar un amef.....	18
Figura 2.4 Ejemplo de una matriz de selección de proyecto	21
Figura 2.5 Estructura del ciclo dmaic	22
Figura 3.1 Personal administrativo y operativo	26
Figura 3.2 Distribución de la planta.....	26
Figura 3.3 Vsm actual de la planta.....	28
Figura 3.4 Enraque de perfiles.....	29
Figura 3.5 Ticket de acabado.....	30
Figura 3.6 Diferencia de un perfil en mf y matizado	31
Figura 3.7 Funcionamiento general del anodizado.....	32
Figura 3.8 Ejemplo de distribución de una cuba de anodizado	32
Figura 3.9 Representación esquemática de los recubrimientos porosos obtenidos en el anodizado de aluminio	34
Figura 3.10 Absorción del colorante por la capa anódica.....	35
Figura 3.11 Oferta gama de colores.....	35
Figura 3.12 Esquema ilustrativo de un proceso de sellado	36
Figura 3.13 Verificación del espesor de capa anódica	37
Figura 3.14 Validación de la información del ticket de acabado	37
Figura 4.1 Interfaz de registro de reproceso	39
Figura 4.2 Ticket de reproceso	40
Figura 4.3 Estratificación por tipo de defecto	41
Figura 4.4 Diagrama de flujo del proceso de anodizado	46
Figura 4.5 Positector 6000 ns3	49
Figura 4.6 Colorímetro cr-410.....	49
Figura 4.7 Coordenadas de color en el sistema hunter lab	50
Figura 4.8 Anova operadores vs porcentaje de lodo	52
Figura 4.9 Anova espesor de capa anódica naturales	54
Figura 4.10 Anova comparación de naturales.....	55
Figura 4.11 Anotron sg8 para control de espesor de capa anódica.	56
Figura 4.12 Diagrama ishikawa para el defecto de mal decapado	57

Figura 4.13 Diagrama ishikawa para el defecto de chorreado.....	58
Figura 4.14 Diagrama ishikawa para el defecto de claras	59
Figura 4.15 Selección de causas a ser demostradas.....	63
Figura 4.16 Análisis de capability sixpack porcentaje de lodos del ae.....	66
Figura 4.17 Análisis capability sixpack de aluminio disuelto.....	68
Figura 4.18 Tendencia de espesor de capa anódica.....	70
Figura 4.19 Interacción de variables espesor de capa anódica.....	70
Figura 4.20 Gráfica de efectos principales	71
Figura 4.21 Pareto de efectos en el delta de color.....	72
Figura 4.22 Efectos principales de delta de color.....	73
Figura 4.23 Análisis capability sixpack para delta de color.....	74
Figura 4.24 Matriz de esfuerzo-beneficio de soluciones.....	76
Figura 4.25 Plan de implementación.....	78
Figura 4.26 Filtro prensa del ae	79
Figura 4.27 Medición de temperatura en diferentes puntos del natural	84
Figura 4.28 Comparación capacidad de proceso inicial vs mejora para porcentaje de lodos del ae	92
Figura 4.29 Carta de control antes vs después para porcentaje de lodos en el ae..	93
Figura 4.30 Prueba de valores atípicos mejora.....	94
Figura 4.31 Capacidad de proceso antes vs después para aluminio disuelto	95
Figura 4.32 Cartas de control antes vs después para aluminio disuelto.....	96
Figura 4.33 Interacción de variables con mejora para los naturales.....	97
Figura 4.34 Análisis de capacidad y cartas de control antes vs después para espesor de capa anódica.....	98
Figura 4.35 Análisis de capacidad y cartas de control antes vs después para delta de color.....	99
Figura 4.36 Check list del área de anodizado	101
Figura 4.37 Registro de limpieza del filtro prensa	101
Figura 4.38 Cartas de control de análisis químicos.....	102
Figura 4.39 Tablero de control dmaic.....	103
Figura 4.40 Acta de capacitación al personal de anodizado	104
Figura 5.1 Serie de tiempo final de reproceso.....	105
Figura 5.2 Consumo de acid etch	106
Figura 5.3 Consumo de sosa caústica	107
Figura 5.4 Serie de tiempo de costo de producción	108
Figura 6.1 Diagrama de pareto etapa de control.....	110
Figura 6.2 Diagrama de pareto etapa de control.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Capacidad nominal de proceso.....	1
Tabla 2 Capacidad nominal de electro coloración.....	2
Tabla 3 Histórico de porcentaje de reproceso.....	4
Tabla 4 Analisis voc.....	6
Tabla 5 Histórico de porcentaje de rechazo 2019.....	7
Tabla 6 Comparación de rechazos con índices de reprocesos de 7,62% y 4%	8
Tabla 7 Niveles sigma.....	13
Tabla 8 Desempeños comparativos a six sigma	14
Tabla 9 Tipos de acabados.....	30
Tabla 10 Espesor de capa anódica según su acabado.....	33
Tabla 11 Miembros del equipo de mejora	38
Tabla 12 Códigos de tipos de defecto.....	40
Tabla 13 Cuantificación de los problemas enfocados	42
Tabla 14 5w1h para tipo de defecto	42
Tabla 15 Imágenes por tipo de defecto.....	43
Tabla 16 Plan de recolección de datos	48
Tabla 17 Recolección de muestras porcentaje de lodos prueba piloto.....	51
Tabla 18 Recolección de datos espesor de capa anódica prueba piloto.....	53
Tabla 19 Directrices de clasificación de gravedad, probabilidad y detectabilidad....	60
Tabla 20 Resumen de matriz amef de reprocesos.....	62
Tabla 21 Plan de verificación de causas del reproceso	64
Tabla 22 Recolección de datos de porcentaje de lodos del ae.....	65
Tabla 23 Recolección de datos de aluminio disuelto.....	67
Tabla 24 Listado de causas raíces	75
Tabla 25 Cambio de lonas del filtro prensa.....	80
Tabla 26 Limpieza programada de la cuba del ae.....	81
Tabla 27 Montaje del vaivén cuba del ae.....	82
Tabla 28 Limpieza programa de la cuba de sosa caústica.....	82
Tabla 29 Montaje de vaivén de la cuba de sosa caústica	84
Tabla 30 Cambio de barrajes de naturales	85
Tabla 31 Mantenimiento preventivo a la cuba de electro color.....	87
Tabla 32 Iluminación insuficiente	89
Tabla 33 Mejora en la iluminación	90
Tabla 34 Recolección de datos de porcentaje de lodos en la etapa de mejora	91
Tabla 35 Recolección de datos de aluminio disuelto en la etapa de mejora.....	94

INTRODUCCIÓN

El aluminio es uno de los metales más modernos comparado con la metalurgia que surgió hace más de 5000 años. El físico y químico Danés Hans Oersted logró separar el Aluminio por primera vez a inicios del siglo XIX, el aluminio se extrae del mineral llamado Bauxita, dicho mineral debe pasar por varias etapas hasta la obtención del aluminio metálico, primero se transforma la bauxita en alúmina mediante el proceso Bayer, posteriormente se obtiene el aluminio metálico mediante proceso de electrólisis.

En las últimas décadas el aluminio se ha convertido en un material muy utilizado en las diferentes industrias como el sector de la construcción, industria aeronáutica, industria automotriz, industrias manufactureras etc. Se trata de un material resistente, fuerte, duradero, maleable, posee alta resistencia a la corrosión, de baja densidad, liviano, buen conductor eléctrico y calorífico, entre otros, características por lo cual aumentó su aplicación a partir de la segunda mitad del siglo XX, siendo uno de los metales más utilizados a nivel mundial ubicado solo por detrás del acero.

En un mundo moderno donde hay que cuidar el medio ambiente debido a la contaminación ambiental y el exceso de desechos, otra de las características más destacables del aluminio es su capacidad de reciclaje. Al contrario de lo que ocurre con otros metales, el aluminio es rehusado en su totalidad, este proceso de reciclaje puede realizarse casi indefinidamente sobre el mismo material por lo que se puede decir que el aluminio tiene un ciclo de vida indefinido.

Otro de los condicionantes importantes de este proceso de reciclado es que solo se necesita aproximadamente un 5% de la energía que se utilizó inicialmente para la obtención del aluminio primario o metálico.

Cabe recalcar que además de las propiedades principales como su maleabilidad y ligereza la característica más importante del aluminio es la protección contra la corrosión, ya que a medida que el aluminio es expuesto al medio ambiente genera una capa protectora en su superficie siendo una protección adicional contra los productos y/o ambientes corrosivos, esto ha convertido al aluminio en el material idóneo para diversos usos en construcción como: escaleras, puertas, marcos, ventanas, rejas, o perfiles, estos productos son ejemplos de las aplicaciones más comunes que se le da al aluminio.

Conscientes de toda esta versatilidad de características y de las grandes ventajas que puede aportar este metal en el sector de la construcción, la empresa se ha especializado en fabricar perfiles de aluminio de uso estructural o arquitectónico con el objetivo de ofrecer sistemas de calidad y con la mejor relación costo beneficio.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El presente proyecto de titulación se desarrolla en una empresa ecuatoriana que se dedica a la fabricación y distribución de perfiles extruidos de aluminio.

La empresa está ubicada en la ciudad de Durán, provincia del Guayas, por su tamaño es catalogada como mediana empresa, debido a que el número colaboradores ronda entre 150 y 200 personas, según su giro de negocio es una empresa de tipo manufacturera.

La empresa inició sus labores en el año 2014 con sus diferentes líneas de procesos, por motivos de estudio solo se analizará uno de sus procesos principales el cual es el proceso de Anodizado.

El proceso de Anodizado entra en funcionamiento en noviembre del 2014 con una distribución inicial de 4 tinajas de Anodizado y una tina de coloración electrolítica, la empresa inició sus operaciones con una capacidad nominal de 422 toneladas mes las cuales se detallan a continuación.

**TABLA 1
CAPACIDAD NOMINAL DE PROCESO**

Capacidad Nominal de Proceso	
Rectificadores	4
Cargas hora por rectificador (Cargas/Hora)	2
Cargas hora (Cargas/hora)	8
Peso de carga promedio (kg)	100
Producción bruta por hora (kg/H)	800
Horas disponibles (H)	24
Producción bruta por día (Kg/Día)	19200
Días laborables	22
Producción Bruta mensual (kg/mes)	422.400 kg

(Fuente: Departamento de producción)

Existe la posibilidad de aumentar su capacidad nominal a 528 toneladas mes con el montaje de un nuevo equipo rectificador.

Dentro de los productos que la organización ofrece existen perfiles que pueden o no tener un tratamiento de electro coloración, lo cual hay que tomar en cuenta al momento de realizar la planificación, en virtud de que inicialmente operó con una sola tina destinada a este proceso, lo cual limita la capacidad productiva de perfiles de aluminio que requieran el proceso de coloración, en la tabla 2 se detalla la capacidad máxima en su proceso de coloración

Como se puede observar solo el 50% de material producido puede pasar por un proceso de electro coloración, por lo cual se abre la posibilidad en un futuro de aumentar la capacidad productiva de perfiles con acabados al doble, con el montaje de 1 rectificador de electro coloración.

TABLA 2
CAPACIDAD NOMINAL DE ELECTRO COLORACIÓN

Capacidad Nominal de Electro Coloración	
Rectificadores	1
Tiempo promedio de Coloración (min)	14
Cargas por hora (Cargas/H)	4
Peso cargas promedio (Kg)	100
Producción bruta por hora (Kg/H)	400
Horas Disponibles	24
Producción bruta por día (Kg)	9600
Días Laborables	22
Producción Bruta mensual (Kg)	211.200 kg

(Fuente: Departamento de producción)

Al ser un proceso poco conocido y empezar sus operaciones desde cero es normal que haya una curva de aprendizaje en todas sus actividades y se vaya cometiendo errores en el transcurso de las mismas.

El departamento de anodizado al ser un proceso intermedio tiene interrelación con otros procesos productivos antecesores y predecesores, como lo son la extrusión de perfiles y el empaque del producto terminado, debido al alto porcentaje de producto no conforme y de rechazos el tiempo de ciclo de toda la organización se ha visto afectado, porque en muchas ocasiones no ha podido cumplir los pedidos a tiempo debido a la baja efectividad del proceso.

Esto también ha generado una problemática interna, porque existe una rotación interna de los perfiles de aluminio en el área de anodizado y no continúan con su flujo normal, generando un exceso de trabajo en proceso en el área, ocasionando que el área de extrusión tenga que parar sus actividades por falta de espacio en la bodega temporal perfiles de aluminio sin tratamiento químico o como conocido también como

bodega de material en Mf, lo mismo sucede con el departamento de empaque que ha suspendido sus actividades en varias ocasiones por falta de materia prima que para el presente caso son perfiles de aluminio anodizados.

Todos estos factores han llevado a la directiva a enfocar sus esfuerzos en mejorar los indicadores de gestión del área de anodizado, enfocándose principalmente en mejorar los indicadores de producción como el throughput y la productividad, objetivos que fueron planteados desde la creación del área de anodizado.

Dicha problemática será abordada empleando los conceptos y herramientas de la filosofía Six sigma, siendo una de las metodologías más fuertes para la resolución de problemas de producción.

1.2. Planteamiento del problema

Desde la creación del área de Anodizado en el año 2014, ha mantenido un porcentaje promedio de reproceso del 7%, este indicador se encuentra fuera de las expectativas del área y de lo requerido por la organización que estipula un máximo de 4%.

Mediante la reducción de la variabilidad y estandarización del proceso se pretende llegar al porcentaje antes mencionado durante el periodo de desarrollo del presente proyecto de titulación.

A pesar de ser un indicador clave de rendimiento, por diferentes factores no se ha podido mantener dentro del rango estipulado, al realizar una comparativa con la filial en la ciudad de Latacunga, la empresa objeto de estudio presenta un costo de producción por tonelada más elevado, debido a que constantemente debe recurrir en costos adicionales, tales como:

- ❖ Pago de horas extras en mano de obra directa
- ❖ Mayor consumo de productos químicos e insumos
- ❖ Cláusulas de castigo por el incumplimiento con los tiempos de entrega
- ❖ Mantenimiento de equipos

Estos costos adicionales han limitado la capacidad competitiva de la empresa tanto interna como externamente, lo que ha ocasionado que en varias oportunidades exista un ambiente laboral no adecuado para el desarrollo de las actividades diarias.

A pesar del transcurso del tiempo y conocer más a detalle el proceso, el panorama del área no ha mejorado satisfactoriamente, debido a que todavía existe porcentajes de reproceso por encima de lo establecido por los directivos.

A continuación, se detalla una parte del histórico del Área de Anodizado, donde se visualiza mensualmente el porcentaje reproceso desde diciembre de 2017 hasta diciembre de 2019.

TABLA 3
HISTÓRICO DE PORCENTAJE DE REPROCESO

Mes	Producción bruta (ton)	Reproceso (ton)	Porcentaje de reproceso	Target
dic-17	366,78 ton	21,77 ton	5,94%	4,00%
ene-18	388,46 ton	20,45 ton	5,26%	4,00%
feb-18	314,42 ton	18,86 ton	6,00%	4,00%
mar-18	376,21 ton	18,86 ton	5,01%	4,00%
abr-18	316,46 ton	18,54 ton	5,86%	4,00%
may-18	348,05 ton	19,17 ton	5,51%	4,00%
jun-18	319,73 ton	24,58 ton	7,69%	4,00%
jul-18	331,64 ton	20,44 ton	6,16%	4,00%
ago-18	330,10 ton	19,57 ton	5,93%	4,00%
sep-18	331,39 ton	21,83 ton	6,59%	4,00%
oct-18	332,69 ton	22,57 ton	6,78%	4,00%
nov-18	321,61 ton	23,08 ton	7,18%	4,00%
dic-18	309,24 ton	25,31 ton	8,18%	4,00%
ene-19	249,69 ton	22,20 ton	8,89%	4,00%
feb-19	207,01 ton	16,82 ton	8,13%	4,00%
mar-19	191,89 ton	21,32 ton	11,11%	4,00%
abr-19	222,89 ton	16,88 ton	7,57%	4,00%
may-19	220,08 ton	12,54 ton	5,70%	4,00%
jun-19	231,98 ton	13,75 ton	5,93%	4,00%
jul-19	199,97 ton	7,13 ton	3,57%	4,00%
ago-19	229,99 ton	21,72 ton	9,44%	4,00%
sep-19	190,92 ton	15,36 ton	8,05%	4,00%
oct-19	259,33 ton	18,63 ton	7,18%	4,00%
nov-19	233,69 ton	16,11 ton	6,89%	4,00%
dic-19	212,36 ton	19,03 ton	8,96%	4,00%

(Fuente: Departamento de producción)

En la siguiente grafico de serie de tiempo se resumen los resultados mensuales de reproceso.

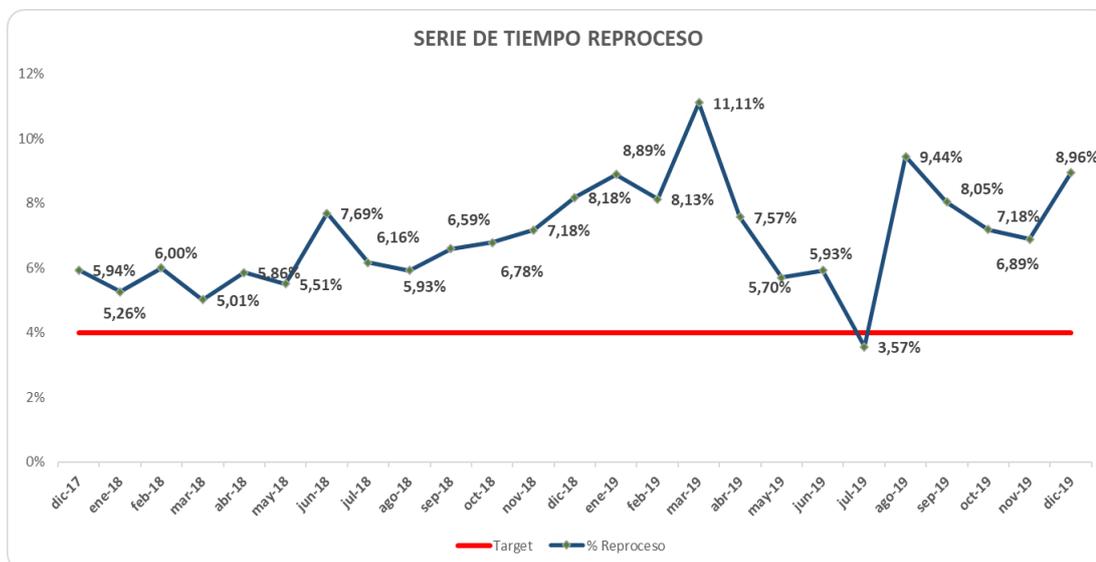


FIGURA 1.1 SERIE DE TIEMPO DE HISTÓRICO DE REPROCESO

(Fuente: Departamento de producción)

De manera general se puede observar que el indicador de porcentaje de reproceso está fuera del límite especificado por la organización, quienes establecieron un máximo de reproceso del 4%, también se puede observar que en el periodo de marzo a julio del 2019 se ve un decremento progresivo en el porcentaje de reproceso siendo julio el único mes que se cumplió con el objetivo planteado de mantener un porcentaje de reproceso menor al 4%, conjuntamente con el alcance del objetivo en Julio del 2019 fue el único mes donde los costos de producción estuvieron por debajo del punto de equilibrio, es decir se generó más ganancia por tonelada producida, el mes de agosto fue un duro golpe y regreso a la realidad debido a que por diferentes factores se obtuvo un porcentaje de reproceso de 9,44%, desde agosto en adelante la tendencia ha sido la misma con el indicador por encima del target.

La alta variabilidad en el proceso se ve reflejado en los porcentajes de producto no conforme motivo por el cual se necesita implementar un plan de mejora continua para mejorar el indicador.

Para implementar dicho plan lo primero que se requiere es crear una base de datos sólida y confiable para la toma de decisiones, al momento no existe ningún archivo generado automáticamente, ni manual donde se exponga a detalle cuales son las no conformidades de los perfiles de aluminio, existe un archivo general en donde solo se puede visualizar la cantidad de reproceso generado en el día, pero dicho archivo es obsoleto porque carece de información, ya que no detalla las defectos por los cuales son enviados a reproceso y por ende no se puede actuar para contrarrestar y atacar los defectos de los perfiles de aluminio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

1. Disminuir el porcentaje de reprocesos en el área de anodizado mediante la aplicación de la metodología DMAIC.

1.3.2. Objetivo Especifico

1. Crear una base de datos donde se establezca los diferentes tipos de defectos que generan la no conformidad del producto.
2. Identificar las causas potenciales que están generando los reprocesos
3. Crear un plan de acción para contrarrestar o eliminar las causas que están generando el mayor porcentaje de reprocesos.
4. Determinar el comportamiento del proceso actual para estandarizar variables y disminuir su variabilidad.

1.4. Justificación del estudio

El alto porcentaje de reproceso trae consigo muchas consecuencias negativas, que terminan afectando los indicadores no sólo del área anodizado sino de toda la organización, esto se ve resumido en la matriz voz del cliente a continuación.

**TABLA 4
ANALISIS VOC**

VOC		
Pregunta	Respuestas	Indicadores
¿Qué impacto tiene el reproceso en la organización?	El reproceso genera rechazos	Rechazos (ton/mes)
	Los reprocesos tienen impacto en los tiempos de entrega	tiempo de entrega (días/orden)
	Los reprocesos afectan los costos producción	costo/ton
	Los reprocesos afectan la productividad del área de empaque	ton /día
	Los reprocesos afectan el recobrado del área de Anodizado	ton netas/día

(Fuente: Departamento de producción)

De la tabla 4 mostrada anteriormente la generación de rechazo es uno de los indicadores que más afectan el recobrado del área de anodizado, el rechazo está estrechamente ligado al reproceso, debido a que el 39% de rechazo es generado por perfiles de aluminio que provienen de un reproceso.

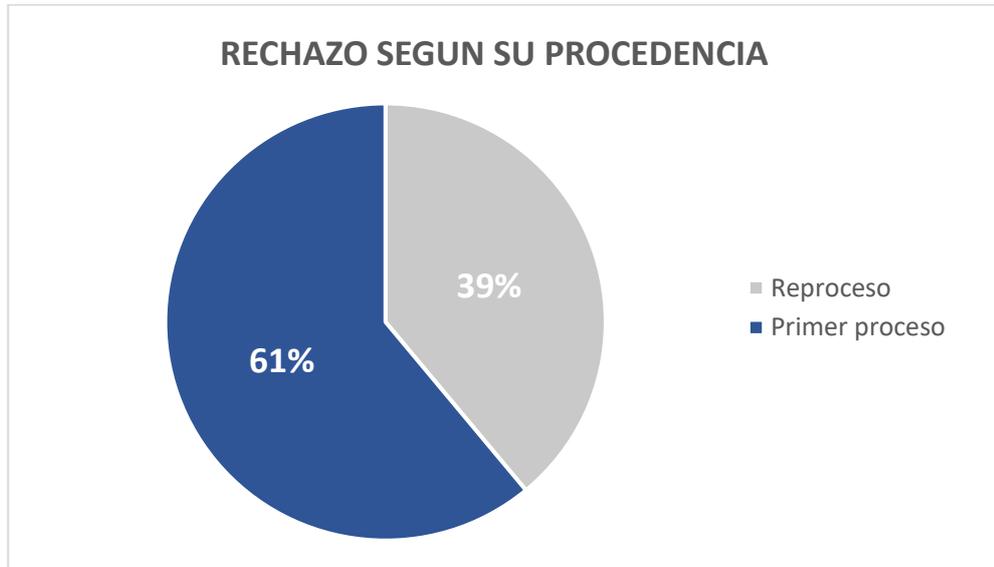


FIGURA 1.2 RECHAZO SEGÚN SU PROCEDENCIA

(Fuente: Departamento de producción)

Realizando un análisis más profundo a la data correspondiente solo al año 2019, se establece que durante ese año se obtuvo 190,29 toneladas de rechazo, de los cuales 116,10 toneladas corresponden a un primer proceso y 74,18 toneladas corresponden a perfiles provenientes de un reproceso.

El presente estudio de titulación tiene como finalidad enfocar todos los esfuerzos para disminuir el porcentaje de reprocesos y de manera indirecta esto también incidirá positivamente en el porcentaje de rechazo, de lo explicado anteriormente se puede afirmar que, al existir menos cantidad de reproceso la posibilidad de que los perfiles de aluminio terminen en chatarra en un segundo proceso también disminuirá.

**TABLA 5
HISTÓRICO DE PORCENTAJE DE RECHAZO 2019**

RECHAZO 2019		
MES	PRIMER PROCESO (ton)	REPROCESO (ton)
ENERO	6,447	5,125
FEBRERO	8,895	6,546
MARZO	12,039	5,079
ABRIL	12,603	6,44
MAYO	11,959	7,509
JUNIO	10,378	6,364
JULIO	7,785	2,88

AGOSTO	10,443	6,331
SEPTIEMBRE	7,392	5,494
OCTUBRE	7,728	5,875
NOVIEMBRE	4,691	4,955
DICIEMBRE	15,748	11,587
TOTAL	116,11	74,19

(Fuente: Departamento de producción)

De esta manera, al lograr el objetivo de disminuir el porcentaje de reproceso al 4% se hubiera obtenido un total 105,99 toneladas de reproceso en el año 2019.

	Producción	Reproceso	Proyección
Porcentaje	100%	7,62%	4%
Peso	2649,80 ton	201,49 ton	105,99 ton

Considerando lo establecido anteriormente que el 39% del material reprocesado no se recupera y no cumple con todos los requerimientos del cliente, se puede afirmar que, del total de toneladas de reproceso generado en el periodo del 2019, terminarían siendo rechazado 78,58 toneladas al ser procesado por segunda ocasión.

Haciendo relación los 2 escenarios, el primero con un porcentaje de reproceso del 7,62% y el segundo escenario con un 4%.

TABLA 6
COMPARACIÓN DE RECHAZOS CON ÍNDICES DE REPROCESOS DE 7,62% Y 4%

ESCENARIOS	
1	2
$x = \frac{201,49 \text{ ton} * 39\%}{100\%}$	$x = \frac{105,99 \text{ ton} * 39\%}{100\%}$
X=78,58 ton	X=41,33 ton
X=78,58 ton - 41,33 ton	
X=37,25 ton	

(Fuente: Elaboración propia)

Como conclusión se puede establecer que bajando el porcentaje de reproceso a un 4%, de manera indirecta también se está mejorando el indicador de rechazo, como se observa en la tabla 5 se hubiera recuperado 37,25 toneladas de rechazo si existiera un programa de mejora continua y los índices de reproceso se mantuvieran dentro de lo establecido.

Motivo por el cual el presente proyecto de titulación enfocara todos los esfuerzos para determinar las causas que estén generando el reproceso, disminuir la variabilidad, estandarizar procedimientos, monitoreo y control de proceso.

1.5. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto está definido por el diagrama Sipoc, en la cual se observa todas las etapas del proceso, mismas que se considerarán desde el enraque de perfiles de aluminio hasta el desenraque de los perfiles procesados, así como también las relaciones que tienen con los otros departamentos que vendrían siendo las entradas o salidas del proceso.

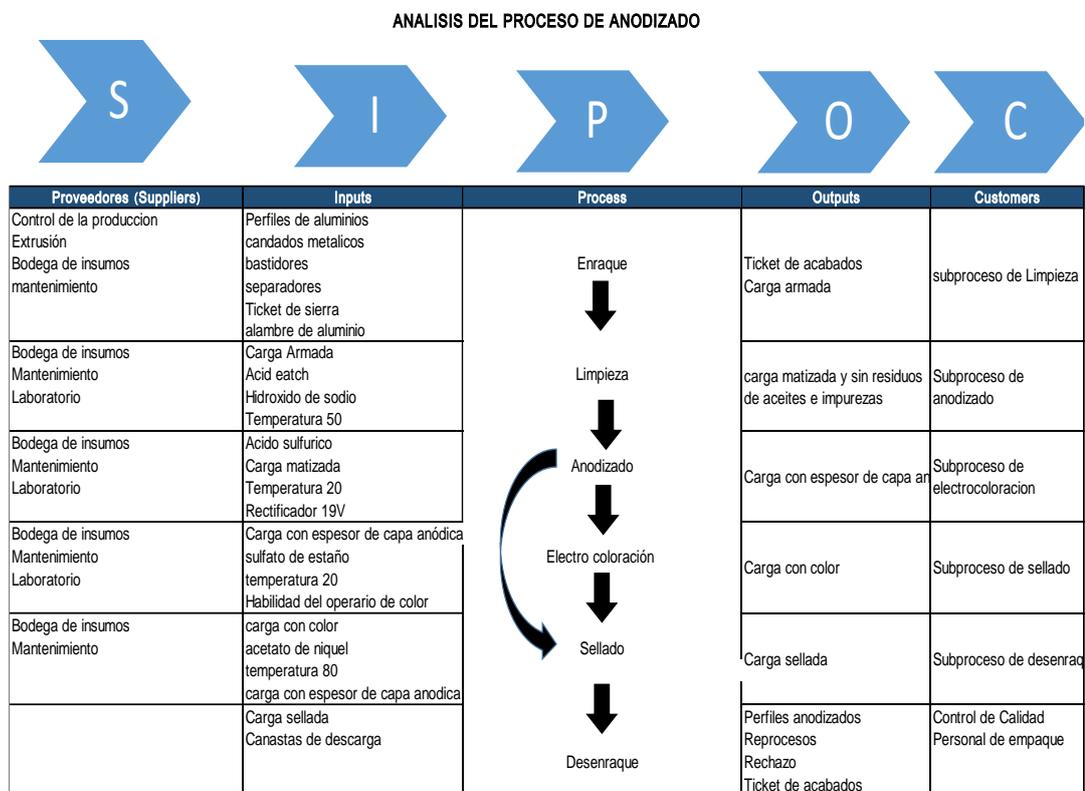


FIGURA 1.3 DIAGRAMA SIPOC

(Fuente: Elaboración propia)

1.6. Estructura del proyecto

El presente trabajo de titulación contendrá un total de 6 capítulos, a continuación, se hará una breve descripción de cada uno de ellos

CAPITULO 1: GENERALIDADES

En este capítulo se plasmará la importancia del tema de investigación, su justificación, los objetivos generales y específicos, que se desean alcanzar con la implementación de la metodología Six sigma.

Además, se detallará la estructura de la tesis, donde se realizará una breve explicación de los 6 capítulos que conforman el trabajo de titulación.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hará una revisión de las bases teóricas acerca de la metodología Six sigma, desde sus inicios, empresas las cuales implementaron esta metodología y los resultados que obtuvieron con la misma.

En este capítulo no solo se tomará en cuenta la metodología DMAIC, sino que se revisará herramientas que ayudaran en la implementación de la misma, herramientas tales como el diagrama de Pareto, diagrama Ishikawa, Sipoc, Ctq, entre otros.

CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En este capítulo se conocerá un poco más sobre la organización, se conocerá todos los procesos productivos que existen dentro de la empresa, se definirá el alcance del estudio que en este caso se va a enfocar en el Área de Anodizado, área la cual será objeto de estudio e implementación de la metodología.

Se revisará los históricos del área como porcentajes de rechazos y reprocesos, datos que serán de mucha importancia en este proceso de mejora.

CAPITULO 4: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Aquí se desarrolla todos los pasos para la implementación del método DMAIC los cuales se explican a continuación, tomando en cuenta el acrónimo en español:

Definir, medir, analizar, mejorar (improve), control.

CAPITULO 5: RESULTADOS

En este capítulo se hará una comparación de los indicadores antes de la implementación de la metodología versus los indicadores después de la implementación.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente se presentarán las conclusiones del trabajo de titulación, adicional se realizan las recomendaciones del caso, acotaciones que han surgido desde el inicio del estudio, pasando por todas sus etapas de implementación hasta su finalización.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del Six sigma

La filosofía Six Sigma se origina a mediados de los años 80 con el objetivo de desarrollar nuevas estrategias de mercado y herramientas para el mejoramiento de la calidad en la empresa Motorola. (Acosta, 2011)

Motorola presentaba problemas por reprocesos e incumplimiento en los plazos de entrega, fue cuando el Ingeniero de confiabilidad Bill Smith promovió como objetivo dentro de la organización el análisis y evaluación de la variación de los procesos productivos, con el fin de tener un resultado o una conclusión que se ajuste más a la realidad de la organización.

La propuesta de Bill Smith fue llevada con el director ejecutivo Robert Galving quienes encaminaron todos sus esfuerzos en la detección y corrección de los factores o variables que generen variabilidad en el proceso, así como también se orientó en la eliminación de los desperdicios con el fin de convertirse en una organización más productiva y competitiva. (James R, 2015)

En el año de 1958 Smith presentó una investigación la cual contenía 2 escenarios, el primero que si un producto no conforme era corregido o retirado durante el proceso de fabricación, habría muchos otros productos que no serían detectados hasta que el cliente final los recibiera, el segundo escenario fue que si un producto es elaborado libre de errores, dicho producto tendría una probabilidad mínima de fallar cuando el cliente utilice el producto, como conclusión de este estudio la organización de motorola decidió poner todos sus esfuerzos en producir bajo la segunda alternativa, la cual tenía como objetivo fabricar los productos libre de errores. (Urrego, 2013)

En el año 1987 motorola estableció como objetivo mejorar la calidad de los productos y servicios 10 veces en relación a la calidad actual, para el año 1991 se pretendía mejorar en 100 veces y lograr una capacidad Six sigma en el año 1992, todo esto creando una profunda cultura de mejora continua y satisfacción del cliente dentro de toda su organización. (James R, 2015)

Todo el esfuerzo que realizó para la disminución de la variabilidad en el proceso productivo fue recompensado en el año 1988, en donde ganaron el prestigioso premio Nacional de Calidad "Malcom Baldrige", premio que reconoce la excelencia en el desempeño a las organizaciones estadounidenses, además haber ganado tan prestigioso galardón Motorola ahorro más de 1.000 millones de dólares en sus primeros 3 años de implementación de la metodología Six sigma.

Esta filosofía y sus increíbles resultados causaron admiración en Lawrence Bossidy, quién se desempeñó como director de operaciones de General Electric (GE), quien

en 1991 terminó su relación laboral con General Electric para tomar las riendas de Allied Signal una empresa que tiene su giro de negocio en la industria aeroespacial, aeronáutica y militar, Lawrence convirtió una empresa con muchos problemas y limitaciones económicas en una empresa exitosa enfocada en el mejoramiento continuo.

Durante la implantación de la metodología Seis Sigma, Allied Signal dio pasos agigantados multiplicando sus ventas y sus ganancias de una manera sorprendente, en el periodo comprendido entre 1994 y 1999 ahorró más de 2 000 millones de dólares (Acosta, 2011)

Pero tal vez el caso más sonado en la implementación de la metodología seis sigmas sea General Electric, donde su ex CEO, Jack Welch incursionó profundamente en la metodología después de ver los resultados de Allied Signal bajo la dirección de su amigo Lawrence Bossidy, lo que ocasionaría que Welch utilizara todas las herramientas de la metodología para transformar a General Electric en una empresa con menos productos, pero con mayor margen de utilidad, dado que en el periodo comprendido entre 1997-1999 GE alcanzó un ahorro de más de 2 570 millones de dólares. (Acosta, 2011)

Jack Welch y su equipo de trabajo se dieron cuenta del alcance de Six Sigma, ya que no solo se enfoca en el mejoramiento de procesos, sino que también es una herramienta útil y aplicable en otras áreas como finanzas, recursos humanos y atención al cliente.

La audacia e ímpetu de Jack Welch convirtieron a General Electric en una "organización Six sigma", con resultados impresionantes en todas sus divisiones, como ejemplo de tal, se cita a General Electric Medical Systems el cual introdujo al mercado un nuevo scanner de resonancia magnética valorado en 1,25 millones de dólares, fue fabricado y desarrollado bajo los principios de Seis Sigma, la característica principal de este equipo es que el tiempo de diagnóstico era solo de 7 segundos en comparación a otros equipos similares que lo realizaban en 180 segundos.

La implementación de Six Sigma en GE a mediados de los 90, favorecieron a hacer de Six Sigma una metodología altamente eficaz y versátil, motivos por lo cual ha sido implementada a nivel mundial, no solo por las empresas ya antes mencionadas sino también por muchas otras empresas tales como: NASA, Sony, Ford, Polaroid, FedEx, Dupont, Lockheed, B Toshiba Bombardier, J&J, Black & Decker, etc. (Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2013)

2.2. Definición de Six sigma

Six sigma es una metodología y herramienta de mejoramiento de la calidad la cual opera bajo la metodología DMAIC en la que se busca aumentar la satisfacción de los clientes por medio de la mejora del desempeño del proceso, enfocados en la

corrección, prevención de los factores y variables que pueden ocasionar no conformidades en un producto y/o servicio.

Esta metodología induce a las empresas a ser más productivas, dado que incitan a mejorar los niveles de satisfacción de sus clientes ofreciéndoles un producto y/o servicio de calidad, lo cual se ve reflejado directamente en el costo de producción, ya que para alcanzar esta meta supone de atacar varios frentes que aparte de generar no conformidades encarecen el costo del producto, como los desperdicios, reprocesos, sobreproducción, mal manejo de inventarios entre otros.

En todo instante se toma como punto de referencia la satisfacción del cliente, ya sean estos internos o externos. La metodología Six sigma se apoya en una herramientas técnicas y estadísticas para la consecución de los objetivos propuestos por la organización por medio de la estandarización de las variables que están inmersas en los procesos. (Acosta, 2011)

Sigma “ σ ” es una letra del alfabeto griego que está asociada a la desviación estándar o desviación típica, que es utilizada para medir la variabilidad de un proceso, en donde se representa la dispersión de los datos de una muestra.

El nivel Sigma representa la capacidad que tiene una organización para producir un producto o dar un servicio que cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente, anteriormente el target de las empresas oscilaba entre tres o cuatro niveles de rendimiento sigma a pesar que estos procesos generaban entre 6.200 y 67.000 DPMO o defectos por millón de oportunidades.

Actualmente como respuesta a las crecientes expectativas de los clientes y la creciente complejidad de los productos, el estándar de rendimiento a migrado hasta un proceso Six sigma en donde se genera un máximo de 3.4 DPMO, en la tabla 6 se detalla el rendimiento con respecto al nivel sigma. (Pyzdek & Keller, 2010)

**TABLA 7
NIVELES SIGMA**

Nivel sigma(α)	Defectos por millón de oportunidades (DPMO)	Costo de la no calidad (% ventas)	Rendimiento
2	308537	30 al 40%	69%
3	66807	20 al 30%	93,30%
4	6210	15 al 20%	99,30%
5	233	10 al 15%	99,98%
6	3,4	< 10%	99,9997%

(Fuente: Escalante 2008)

Los defectos por unidad son el indicador común en la metodología Seis Sigma, tomando en cuenta que medir defectos no solo se refiere a errores en piezas manufacturadas, sino también son servicios completos como puede ser una comida servida, clientes satisfechos, transacciones bancarias etc., y por defecto se entiende todo aquello que impide la satisfacción del cliente.

Como se puede observar en la tabla 6 la diferencia entre niveles de calidad sigma puede ser sorprendente. Por ejemplo, si en una lavandería de carros se lavan 60 unidades al día, y cada proceso de lavado incluye 3 factores primordiales que hacen que el servicio sea bueno o malo, estos factores son calidad de lavado, tiempo y precio, cada resultado en cada factor es analizado y se determinan las oportunidades de cometer un error, con estas características se tendría 180 oportunidades de cometer un error a lo largo del día, por tanto, en el caso de que se registren 12 incidentes en un día, se tendría $\frac{12}{180} = 0,666$ defectos por oportunidad, al multiplicar este valor por mil se obtendrá 66,66 defectos por cada mil oportunidades, este valor también se puede multiplicar por un millón y serían 66.666 defectos por cada millón de oportunidades.

Para dejar más claro las diferencias entre niveles sigma se citan varios ejemplos a continuación:

TABLA 8
DESEMPEÑOS COMPARATIVOS A SIX SIGMA

Si se ostenta el 99% de desempeño (3,8 σ), se espera	Si se logra el 99,9997% de desempeño (6σ), se espera solo:
20000 encomiendas perdidas cada hora	7 encomiendas perdidas cada hora
5000 cirugías incorrectas por semana	1,7 cirugías incorrectas por semana
al menos 2 aterrizajes con problemas diarios	1 aterrizaje con problemas cada 5 años
200000 prescripciones de medicamentos erróneas por año	68 prescripciones de medicamentos erróneos por año

(Fuente: Urrego 2013)

No obstante, a pesar de los resultados increíbles, en la industria no todos los procesos productivos o de servicios precisan trabajar en un nivel Six sigma, el nivel depende de la importancia del proceso o servicio y el costo que conlleva la mejora en relación con el beneficio esperado y el esfuerzo que implica la implementación, generalmente es fácil desplazarse de un nivel 2 o 3 sigmas hacia un nivel 4 sigmas, pero llegar a un nivel 5 o 6 sigma requiere mucho más esfuerzo. Como se puede observar en la tabla

anterior un cambio de tres a cuatro sigmas representa una mejora de alrededor de 10 veces en Dpmo, de cuatro a cinco sigmas representa una mejora de 30 veces y de cinco a Six sigma requiere una mejora de 70 veces lo cual implica grandes desafíos para cualquier organización.

En Motorola, por ejemplo, se volvió parte del lenguaje común de todos los empleados aun si no entienden los detalles estadísticos. Para ellos Six sigma representa casi la perfección por que aun en aquellos departamentos que la han alcanzado, los empleados continúan sus esfuerzos de mejora a fin de llegar a cero defectos.

Es común que un proceso tenga una desviación estándar considerable, pero esta no se notará, ya que el margen de tolerancia de un desplazamiento es primordial debido a que ningún proceso puede mantenerse estable completamente o en control perfecto, al calcular el área de la cola de una de las curvas desplazadas más allá del límite de especificaciones se obtendría 3.4 partes por millón. (Pyzdek & Keller, 2010)

2.3. Herramientas básicas para Six sigma

Los datos son la principal fuente de apoyo para la toma de decisiones, obtener y organizar los datos sobre alguna situación en particular es el punto de partida para cualquier proyecto de mejoramiento, la procedencia de los mismos puede ser en base experiencias, lluvias de ideas, percepciones personales o grupales, así como también a través de muestras al azar, encuestas, conteos.

En la búsqueda de crear una estrategia de mejora para resolver un problema particular, es fundamental conocer las variables que inciden en la calidad del producto final y tomar las acciones necesarias para disminuir o eliminar dichas variaciones, para lo cual la metodología Six sigma se ayuda de muchas herramientas de diagnóstico o control para una visualización más clara y precisa.

A continuación, se detallan algunas de las herramientas más utilizadas en un proyecto Six sigma.

Diagrama de Pareto

Es una herramienta grafica que utiliza como base los datos de diferentes tipos de defectos, reprocesos, desechos, reclamaciones, pérdidas en dinero etc., aportados por un análisis estadístico, normalmente se lo conoce como la "Ley del 80-20", este diagrama reconoce que más del 80% de la problemática en una empresa es generada por el 20% de causas comunes, es decir, estos factores o situaciones actúan de manera constante sobre los procesos.

Lo anterior se representa en un gráfico de barras verticales que muestra la información de manera prioritaria de mayor a menor, la idea es que cuando se desea mejorar un proceso o servicio no se den "palos de ciego" tratando de eliminar todas las causas del proceso, sino más bien enfocar los esfuerzos en las causas más comunes para obtener un mejor resultado y en menor tiempo.

El nombre de la herramienta fue designado en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1843-1923). (Pyzdek & Keller, 2010)

Una vez identificado los aspectos no satisfactorios se utilizan otras herramientas para profundizar en las posibles causas que estén generando las no conformidades.

Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa o también llamado diagrama de Espina de Pescado por su parecido con el esqueleto de un pescado, es una herramienta para el análisis de los problemas, básicamente representa la interacción de un efecto o problema y todas las posibles causas que lo ocasionan, adicional cada causa puede subdividirse con mayor detalle en varias sub causas lo cual resulta muy útil al momento de tomar acciones correctivas dado que se deberá actuar con precisión sobre el aspecto que explica el comportamiento no deseado.

Existen tres tipos de diagramas Ishikawa: método de las 6M, método de método tipo flujo de proceso y método de estratificación de causas, siendo el método de las 6M el más utilizado.

El nombre de diagrama es en honor al Dr. Kaoru Ishikawa, quien fue uno de los principales promotores de la calidad en Japón y alrededor del mundo. (Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2013)

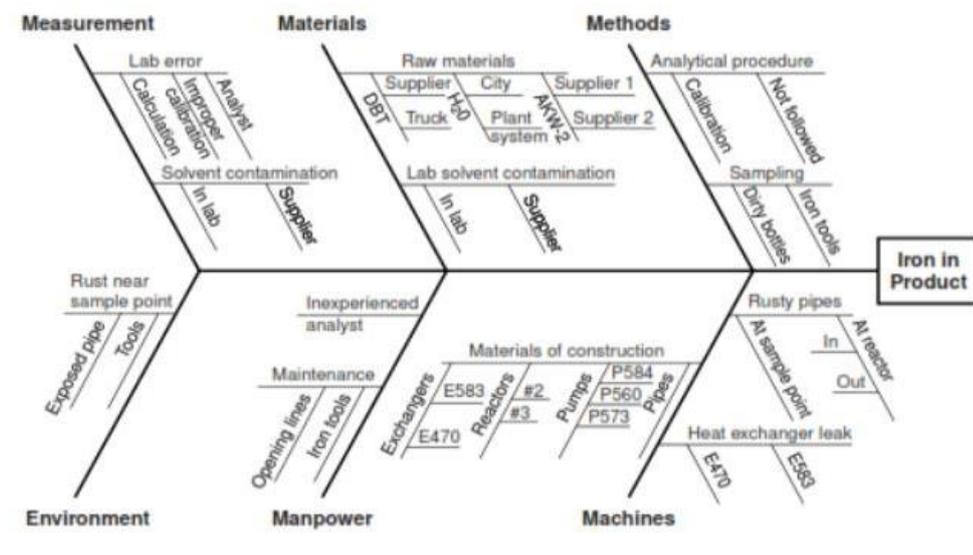


FIGURA 2.1 EJEMPLO DE UN DIAGRAMA ISHIKAWA

(Fuente: Tague, 2005)

Diagrama Sipoc

Es una herramienta en formato tabular que permite un mejor entendimiento de los procesos y elementos que intervienen en el mismo, dando una correcta apreciación de lo que se hace impidiendo de esta manera la aparición de fallos o errores.

Sus siglas traducidas al español significan: Suministros, Entradas, Procesos, Productos y Clientes. En muchas ocasiones también se utiliza el acrónimo COPIS, que ubica al cliente en primer lugar lo cual resalta el valor del cliente para la organización. (Munro, 2015)

Para un mejor entendimiento se realiza una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el diagrama SIPOC

Proveedor. – Es el encargado de proporcionar los elementos de entrada para el proceso.

Entradas. – Es todo recursos, información y elementos necesarios para la realización o ejecución del proceso.

Proceso. - Es un conjunto de actividades que se encargan de transformar las entradas en salidas.

Salidas. - Son los resultados de la ejecución del proceso, teniendo como producto final ya sea un producto o servicio.

Cliente. - Es hacia quien está destinado el resultado del proceso.

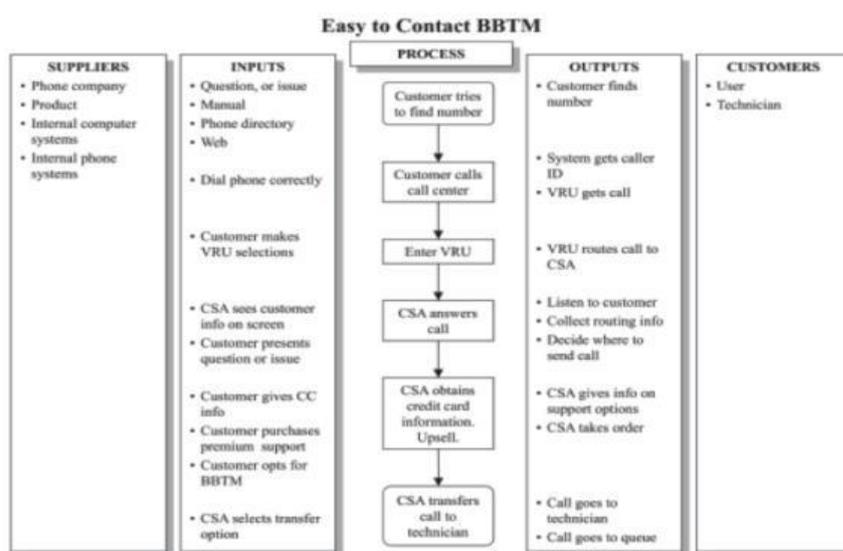


FIGURA 2.2 EJEMPLO DE SIPOC

(Fuente: Pyzdek 2010)

Diagrama de análisis de modo y efecto de fallas

El AMEF o Análisis de modo y efecto de fallas es una herramienta que nos permite identificar las causas y efectos de las fallas en los diseños de productos, procesos y sistemas, a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y efectos que lo provocan, de esta manera se podrá evaluar y clasificar de manera objetiva los potenciales fallos, aplicar esta herramienta en procesos productivos, productos o servicios se ha vuelto una actividad casi obligatoria en muchas organizaciones ya que si un producto o un proceso se ve como un edificio, el aplicar AMEF es como revisar los cimientos y las estructura para asegurar su confiabilidad y disminuir la probabilidad de que estos fallen.

Los principales beneficios del AMEF son, Identificar fallas o defectos antes de que estos ocurran, incrementa la confiabilidad de los productos o servicios, consigue procesos de desarrollo más cortos, documenta los conocimientos sobre los procesos, incrementa la satisfacción del cliente.

El AMEF se creó inicialmente para detectar errores en el diseño o rediseño de los productos o en algún proceso de producción, pero en los últimos años su campo de aplicación es mucho más amplio ya que es muy común utilizar dicha herramienta en los siguientes áreas: seguridad y salud ocupacional, riesgos ambientales, en el área de mantenimiento se utiliza para análisis de disponibilidad de equipos, facilitar el mantenimiento a un equipo, montaje de equipos etc. (Pyzdek & Keller, 2010)



FIGURA 2.3 SECUENCIA PARA REALIZAR UN AMEF

(Fuente: Pulido 2009)

2.4. Selección de un proyecto Six sigma

Seleccionar un problema adecuado es el primer paso y el más crucial para empezar con un proyecto Six sigma, existe un riesgo considerable de fracaso si se eligen problemas muy amplios, es decir que, abarquen muchos aspectos, estos proyectos pueden compararse de mejor manera con “resolver el hambre mundial”, es algo de interés común pero muy poco probable de solucionar a corto plazo, al contrario, al inicio de un proyecto Six Sigma es más práctico elegir los proyectos más factibles de alcanzar con el objetivo de generar mayor confianza con los directivos, de esta manera darán todas las facilidades económicas y físicas para proyectos futuros.

Uno de los errores más comunes es tratar de abarcar todos los problemas en un mismo proyecto, se debe ser paciente y respetar los plazos establecidos para el proyecto, muchas organizaciones pretenden solucionar en un corto plazo los problemas que han aquejado a la organización durante muchos años. (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2004)

En base a más de mil proyectos Six sigma aplicables, se llegó a la conclusión que casi todos los casos de resolución de problemas de calidad corresponden a una de estas 5 categorías:

1. Problemas de conformidad
2. Problemas de eficiencia
3. Problemas de desempeño no estructurado
4. Problemas de diseño del producto
5. Problemas de diseño del proceso

Para la resolución de problemas de cada una de estas categorías existen diferentes metodologías y enfoques, el presente proyecto de titulación se enfoca en la resolución de los problemas de conformidad.

Los proyectos de mejora deben adaptarse a las habilidades y capacidades del personal que conforman el equipo, por lo que se requiere un equipo multidisciplinario que aporte con análisis técnico, desarrollo de soluciones creativas e implementación. Por ende, los equipos Six Sigma no sólo se enfocan en resolver los problemas inmediatos, también proporcionan un ambiente para el aprendizaje, desarrollo de la gestión, motiva a los empleados a innovar, mejora su ambiente laboral y autoestima personal. (James R, 2015)

Muchas de las ocasiones el personal operativo que conforma el equipo Six sigma no tiene ni la más mínima idea de la metodología, por lo que la capacitación constante es otro punto a tomar en cuenta en la implementación de un proyecto, al mismo tiempo el personal operativo agrega muchísimo valor al proyecto porque es quien conoce las fortalezas y debilidades del proceso y la maquinaria.

Otro de los desafíos importante es coordinar las actividades del proyecto con las actividades normales del trabajo, por lo que es recomendable asignar tiempo libre a los integrantes del equipo para que puedan asistir a reuniones y completar las actividades encomendadas, por lo que no es dable esperar que los integrantes y/o líderes del proyecto participen de manera plena y eficaz teniendo una jornada de trabajo completa.

El principal objetivo de los proyectos Six sigma es mejorar el rendimiento financiero, por ende, cabe recalcar que la priorización y selección de un proyecto puede ser en base a algunos criterios racionales los cuales contribuirán a tener mayor probabilidad de éxito, los factores a tomarse en cuenta son los siguientes:

- Rendimiento financiero (medidos por los costos asociados por la calidad y los costos de producción)
- Impacto en los clientes y eficacia de la organización
- Probabilidad de éxito
- Impacto en los empleados
- Adecuado para la estrategia y ventaja competitiva

Es recomendable usar modelos de calificación para evaluar proyectos potenciales. En la figura 2.4 se cita un ejemplo de una matriz de selección de proyectos, donde en el cuadro superior se muestra las ponderaciones de importancia del cliente conjuntamente con las características críticas de calidad, en la parte central de la matriz se ubicarán números en base a la ponderación de clasificación del proyecto, realizando una interacción entre la importancia del cliente y el proyecto se obtiene la métrica de clasificación del proyecto, estos valores obtenidos entre más alto sean, son más importantes y su impacto en el cliente será mayor.

Esta matriz nos ayuda a eliminar conjeturas y opiniones durante el proceso de selección del proyecto, y se enfoca en las cuestiones importantes para la organización y en especial para el cliente. (James R, 2015)

	Piezas ordenadas faltantes	Entrega tarde	Pedidos dañados	Pedidos equivocados	Más piezas de las ordenadas	Retenidos demasiado tiempo	
Cuestiones del cliente							
Importancia del cliente	8	5	7	10	3	3	

Proyecto	Clasificación del proyecto con base en la correlación con cuestiones del cliente						Métrica de clasificación del proyecto
	5	8	3	3	5	0	
Optimización del flujo del proceso de surtido de pedidos	5	8	3	3	5	0	146
Proyecto de reducción del tiempo de ciclo de reabastecimiento	5	8	5	0	0	0	115
Reporte de retroalimentación de servicio al cliente	5	3	3	8	0	5	171
Certificación del proveedor de entrega	0	10	8	0	0	0	106
Integración del proceso de actualización de TI	7	5	0	8	8	3	194

Importancia del cliente	Relación con la importancia del cliente	Clasificación del proyecto	Relación con la cuestión del cliente
0	No es importante	0	No hay correlación
3	Ligeramente importante	3	Muy poca correlación
5	Importante	5	Alguna correlación
8	Muy importante	8	Correlación alta
10	Crítico	10	Correlación completa

FIGURA 2.4 EJEMPLO DE UNA MATRIZ DE SELECCIÓN DE PROYECTO

(Fuente: James R. 2015)

2.5. Etapas de un proyecto Six sigma

El proceso de implementación de la filosofía Six Sigma sigue un ciclo definido de 5 etapas en las que se desarrollan técnicas y herramientas estadísticas que nos facilitan el cumplimiento de los objetivos del proyecto, esta filosofía opera bajo la metodología DMAIC, la cual fomenta a las empresas a ser más productivas y satisfacer de mejor manera las necesidades del clientes ofreciéndoles un producto y/o servicio de calidad, lo cual influye directamente en su flujo de caja ya que para alcanzar esta meta supone de atacar varios frentes que generan desperdicios como son las operaciones que no agregan valor al producto final y/o servicio, altos costos de producción, mal manejo de inventarios entre otros.

El nombre de la metodología representa las siglas de los procedimientos que la conforman, Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar. Todas estas fases que conforman la metodología Six Sigma deben ser aplicadas de manera secuencial.

Mediante la aplicación de esta metodología, el proceso es analizado y estudiado a fondo, brindando información confiable, que se traducen en indicadores de rendimiento, los cuales darán a conocer dónde se encuentran las oportunidades de mejora. (Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2013)

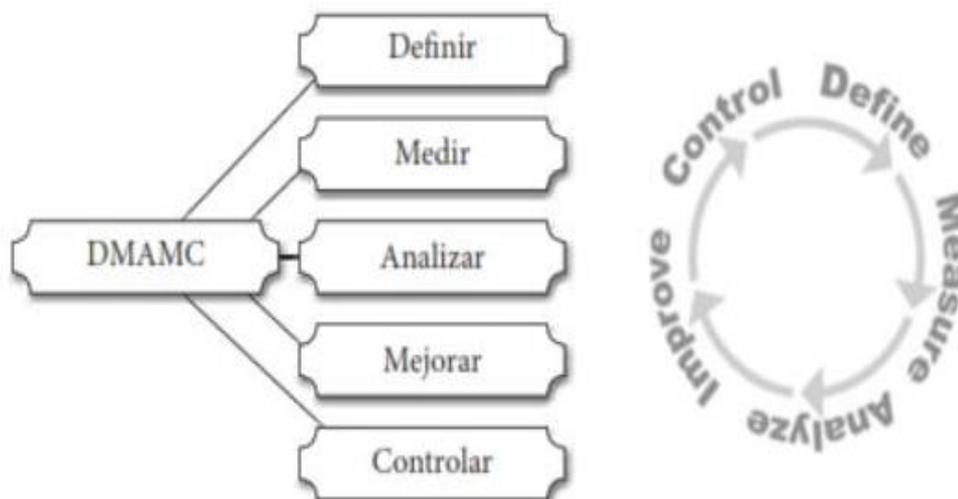


FIGURA 2.5 ESTRUCTURA DEL CICLO DMAIC

(Fuente: Urrego, 2013)

A continuación, se hará una breve descripción de cada una de las etapas que conforman la metodología DMAIC:

Definir

Después de seleccionar un proyecto adecuado, el primer paso es definir de manera clara y concisa el problema, esto se definirá en la primera etapa de la metodología, donde además se establecerán los objetivos, alcance, restricciones, recursos, estrategias, oportunidades de mejora, requerimientos de los clientes etc., en otras palabras, se sientan todas las bases necesarias para el éxito.

Otro punto importante es la conformación del equipo de trabajo, por ende, en esta etapa se definirá la estructura del equipo con la respectiva descripción de las funciones y actividades de los integrantes del mismo

Medir

El físico y matemático británico William Thomson Kelvin manifestó:

“Lo que no se define no se puede medir, lo que no se mide no se puede mejorar, lo que no se mejora, se degrada siempre” (Thomson, s.f).

Por ende, la segunda etapa de la metodología DMAIC nos ayuda a entender y cuantificar de mejor manera la magnitud del problema que se aborda con el proyecto, con el propósito de validar la información del proceso, información del producto, indicadores de gestión y la satisfacción de los clientes ya sean estos externos e internos.

De la misma manera en esta etapa se establecen las métricas de medición que dentro de la metodología Six sigma son denominadas con la letra "Y", con las que se evaluará el éxito del proyecto, también se analiza y valida el sistema de medición para garantizar que las Y's sean medidas de manera correcta.

Una de las herramientas más utilizada en esta etapa es la capacidad de proceso, la cual se define como el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas, cuando el proceso se mantiene dentro del rango de especificaciones se dice que el proceso es capaz cuando esto no ocurre el proceso requiere modificaciones inmediatas.

El saber si un proceso es capaz o no es la parte primordial de un estudio de mejora continua, ya que no se podrá seguir avanzando las siguientes etapas de DMAIC si un proceso no está bajo control. (Pulido, 2009, pág. 101)

Analizar

Es la etapa más importante de la metodología DMAIC, en esta etapa se identifican la o las causas raíz del problema, dentro de la metodología se la denomina con la letra "X", para hallar las X vitales es necesario determinar todas las variables de entrada, en esta etapa se realiza la validación de datos para un posterior análisis estadístico.

Existen diversas herramientas que nos ayudaran en esta etapa, las herramientas más sencillas son: el Diagrama de Pareto, Diagrama de causa y efecto, estratificación, cartas de control, mapeo de procesos, los cinco por qué, todas estas como paso previo al análisis inicial, también se utiliza herramientas más completas que relacionan las variables de entrada con las variables de salidas como: el diagrama de dispersión, análisis de correlación, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, entre otras.

Una correcta selección del método estadístico permitirá lograr mejores beneficios y un análisis muy próximo a la realidad.

Mejorar

Una vez que se estudia y comprende la causa raíz del problema, el siguiente paso es identificar, evaluar, seleccionar e implementar soluciones para eliminar o reducir los efectos de la causa raíz, de tal manera que permita llevar a cabo nuevas técnicas y/o formas de optimización, con el único objetivo de mejorar las medidas de desempeño del proceso.

Una vez que se haya seleccionado las soluciones más factibles para el proyecto, se debe analizar de qué manera impacta en las variables de proceso, si la solución es correcta esta impactara de manera positiva, para poder estudiar dichos resultados con frecuencia se usa la matriz de análisis modo efecto de falla, también suele usarse Poka Yoke para así garantizar el resultado esperado.

Para finalizar se realiza una comparativa de la situación actual del proceso versus la situación inicial, con relación a costos, tiempos, recursos requeridos, capacidad de proceso, eficiencia y eficacia del proceso etc., para analizar si los resultados están dentro del rango estimado.

Controlar

Realizar algo nuevo y diferente durante un periodo corto no es difícil, lo complicado es mantener esos cambios a lo largo del tiempo, la etapa de controlar se enfoca en mantener las mejoras logradas hasta ese punto, esta etapa requiere la participación de todos los involucrados en el proceso o toda aquella persona que tenga relación directa con las variables de entradas "x" para asegurar que se encuentren dentro de los rangos máximos.

Los puntos más importantes en la fase de controlar son:

- Estandarizar el proceso
- Documentar el plan de control
- Monitorear el proceso
- Socializar el proyecto

Uno de los errores más comunes es no compartir la información del proyecto con personal que no participo del mismo, este último punto motiva a cambiar los hábitos, adaptarse a la nueva forma de trabajar y los nuevos controles establecidos.

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

3.1. Inicios de la organización

La empresa objeto de estudio es una empresa ecuatoriana constituida en el año 1974, con el fin de producir, comercializar, distribuir, realizar el montaje de perfilería y otros productos extruidos de aluminio para uso arquitectónico y/o estructural.

Empezó sus actividades productivas en el año 1976, con la creación de la planta de extrusión que se encuentra ubicada en la Ciudad de Latacunga, un poco más de 4 décadas han transcurrido desde el inicio de sus actividades, actualmente la empresa es líder en la producción y distribución de perfiles de aluminio en el Ecuador con más de 60 distribuidores exclusivos a lo largo y ancho del país, además gracias a sus alianzas estratégicas tiene participación en otros países como Perú, Colombia, Bolivia y Estados Unidos

Como logros destacados se puede resaltar los diferentes tipos de certificaciones que posee la organización tales como: ISO 14001:2015, ISO 19001:2015, OHSAS 18001.

En diciembre del año 2018 el Ministerio de Industrias y Productividad del Ecuador, mediante la Resolución No. 18-389 la cual fue emitida por la Dirección de Evaluación y Control de la Calidad, otorgó la designación al LABORATORIO DE CALIDAD para que se realicen las actividades de ensayo en materiales de aluminio bajo los estándares internacionales de gestión de la norma ISO 17025, convirtiéndose así en el PRIMER LABORATORIO A NIVEL NACIONAL en alcanzar tan prestigiosa certificación.

Siendo una empresa responsable con sus colaboradores, clientes y con el medio ambiente la organización cultiva muchos valores corporativos dentro de los cuales resaltan:

- Valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo.
- Actuar siempre con integridad.
- Buscar la satisfacción de los clientes.
- Procurar la excelencia en toda actividad.
- Participar activamente y agregando valor en el desarrollo de la empresa, la comunidad y el país.
- Tener visión y compromiso de largo plazo.

La empresa es ampliamente reconocida en el mercado nacional e internacional por la calidad de sus productos, la confiabilidad e integridad de su organización.

Como organización contribuye día a día con el desarrollo de la industria ecuatoriana, aportando a la generación de nuevos puestos de trabajo directos e indirectos que complementan las actividades del giro de negocio.



FIGURA 3.1 PERSONAL ADMINISTRATIVO Y OPERATIVO

(Fuente: Recursos humanos)

En el año 2014 la empresa vivía una de sus mejores etapas, con ventas por encima de su capacidad nominal por lo que se vio obligado a realizar la ampliación de su capacidad productiva para satisfacer las necesidades del mercado local e internacional, por lo que dio inicio a la planificación, organización y ejecución de la inversión en una nueva planta extrusora de aluminio.

La nueva planta se construyó en los terrenos que pertenecen a la corporación, dichos terrenos se encuentran en el Cantón Durán, Provincia del Guayas, la extensión total del terreno es de 65.000 m², con lo cual se espera crear una nueva planta de producción que a la vez cumpla la función de un nuevo centro de distribución a nivel nacional.



FIGURA 3.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

(Fuente: Recursos humanos)

3.2. Descripción del Procesos Productivo

La empresa posee 3 procesos principales los cuales comprenden todas las actividades vinculadas a la transformación de billets en perfiles hasta el almacenamiento de los mismos para una posterior distribución a los CEDIS o directamente al cliente final.

- Extrusión
- Anodizado
- Empaque

Los perfiles de aluminio son piezas extruidas, largas en comparación con sus dimensiones de sección transversal, generalmente estos perfiles disponen de una cavidad hueca en su interior. Algunos perfiles pueden denominarse como semitubulares debido a que poseen una parte sólida y una sección hueca. (Muñoz Enriquez, 2006)

El proceso de fabricación de los perfiles de aluminio empieza en el área de Extrusión, cuando el lingote cilíndrico de aluminio o denominado como billet se calienta en un horno de preparación a una temperatura de $500^{\circ} \pm 20^{\circ} \text{C}$, cuando el billet alcanza dicha temperatura el aluminio se encuentra por debajo del punto de fusión donde es de fácilmente maleable, pasa a una recámara donde es empujado por un cilindro hidráulico con una fuerza de empuje de entre 1000 y 2500 Newtons, este empuje provoca que el aluminio pase por una matriz de hierro fundido donde adopta la forma de la matriz aprovechando que el aluminio está en un estado semi líquido, actualmente se dispone de más de 4000 matrices las cuales complementan el servicio que ofrece, debido a que abarcan una mayor proporción de la demanda de perfiles de aluminio.

Una vez que los perfiles atraviesan la matriz, estos son sujetados por un estirador que tiene como objetivo llevar los perfiles a lo largo de la mesa y mantenerlos lo más derecho posible.

De un billet de dimensiones standard se obtienen en promedio unos 16 metros de perfiles de aluminio, posteriormente al proceso de estiramiento los perfiles tienen una longitud de 25 metros los cuales son llevados a una mesa paralela en donde es cortado en los largos requeridos por el cliente, después se los ubica en unas canastillas para su posterior traslado al horno de envejecimiento, en donde los perfiles adquieren dureza de 10- 13 Brinell para un mejor desempeño, el envejecimiento de los perfiles es un tratamiento térmico en el que el perfil se pone rígido, dicho tratamiento se realiza en hornos apropiados a unas temperaturas de $300^{\circ}\text{C} \pm 30$ durante un tiempo aproximado de 4 horas. (Hidalgo, 2015)

Una vez que los perfiles adquieren dureza en el horno de envejecimiento se almacenan en una bodega temporal donde dependiendo su aplicación final seguirá con su proceso de fabricación, el perfil puede ser usado tal como sale del horno de

envejecimiento en acabado Mill Finish o puede ser direccionado al área de anodizado donde adquiere otras propiedades y características.

El proceso de anodizado se lo explicará más adelante, debido a que el área será objeto de estudio y mejora.

Una vez que los perfiles son anodizados se los ubica en unas canastillas para su posterior transporte al área de empaque, área donde el personal de empaque guiados por el Ingeniero de control de calidad se encargan de la verificación de las variables y atributos de los perfiles, si el producto cumple con todos los requerimientos del cliente el material es empacado y almacenado en la bodega de producto terminado para su posterior distribución, caso contrario los perfiles serán devuelto al área de anodizado para su reproceso.

En el siguiente grafico de VSM o Value Stream Mapping, se puede observar el flujo de los perfiles de aluminio y la interacción entre departamentos.

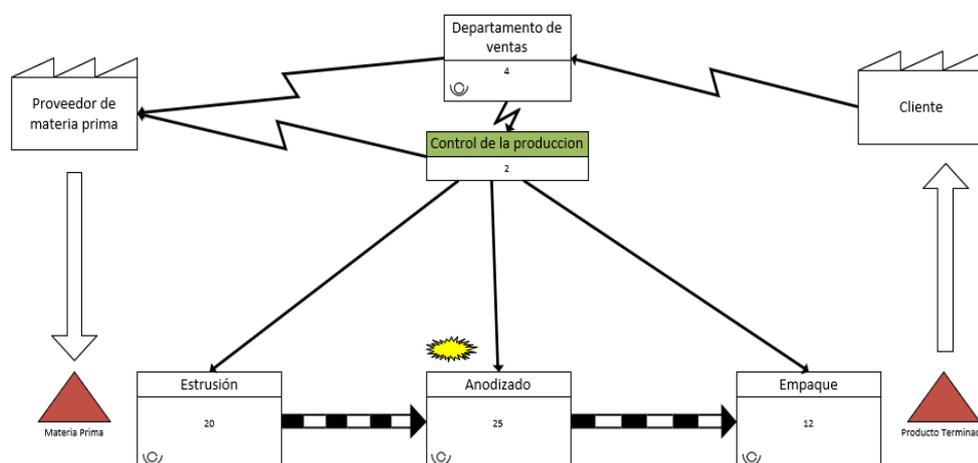


FIGURA 3.3 VSM ACTUAL DE LA PLANTA

(Fuente: Departamento de producción)

Visto de una manera global el proceso productivo de la empresa es en línea, todos los departamentos deben estar alineados y mantener un flujo de producción similar para no generar cuellos de botellas y no mermar la eficiencia de los otros departamentos.

3.3. Área de anodizado

El proceso de anodizado es un tratamiento superficial del aluminio que consiste en la formación de una capa de óxido de aluminio de manera controlada mediante un proceso electrolítico, en el cual se aplica corriente continua a través de la superficie del aluminio, todo esto sumergido en una solución compuesta de ácido sulfúrico y

agua, al realizar este proceso los perfiles de aluminio mejoran sus propiedades mecánicas ya que obtienen mayor protección contra la corrosión y una mejor resistencia a la abrasión superficial. (Barba Pingarrón, 2014)

El proceso de anodizado comprende 6 etapas las cuales son:

- Enraque
- Limpieza
- Anodizado
- Electro coloración
- Sellado
- Desenraque

A continuación, se realiza una explicación más a fondo de cada etapa que comprende el proceso de Anodizado.

3.3.1. Enraque

Es el amarrado de perfiles mediante alambre y/o pinzas, sobre unas barras de aluminio o como se lo conoce internamente bastidores, para posteriormente ser fijadas en un rack la cual ayudara a la transmisión eléctrica desde el cátodo hacia el ánodo.



FIGURA 3.4 ENRAQUE DE PERFILES

(Fuente: Departamento de producción)

Cabe recalcar que el subproceso de Enraque no solo contempla el armado de las cargas, sino también se encargan de realizar un inventario físico previo, generando un ticket de acabado para corroborar información de unidades de perfiles de aluminio y acabado final.

TICKET DE ACABADOS

FECHA				ACABADO		FO-AN-1	
DIA	MES	AÑO		62			
TURNO	ENRACADORES NOMBRE			RACK No.	RES. ERP. No.		
11	SABANA			47	DIGITADO POR		
CANASTA	ALEACION	REFERENCIA	LARGO	ENRAQUE No. de Piezas	m2	DESENRAQUE N° de piezas	EMPAQUE N° Piezas Recibidas
69	6063	1593	640	59	52		
				Total	Total	DESENRAcado POR:	RESPONSABLE
ANODIZADO LIBERADO POR:				EMPAQUE RECIBIDO POR:			

FIGURA 3.5 TICKET DE ACABADO

(Fuente: Departamento de Producción)

El ticket de acabado contiene información muy importante que ayudará a la trazabilidad de los perfiles de aluminio, información como fecha de enraque, acabado, número de piezas, metros cuadrados, largo del perfil, canastilla o lote de producción, referencia y las personas que realizaron el subproceso de enraque.

Cuando se refiere a tipo de acabado, se hace referencia al tipo de color al que es destinado los perfiles de aluminio.

**TABLA 9
TIPOS DE ACABADOS**

Código	Acabado	Tonalidad
2-14-17	Natural	
3	Bronce Claro	
4	Bronce medio	
6-18	Negro	
7	Gris titanio	
8	Verde Acuario	
9	Champagne claro	
10	Champagne	
11	Azul Zafiro	

(Fuente: Departamento de producción)

Una vez verificada la información y calidad de amarre de la carga, la misma es enviada al proceso de limpieza a través de un puente grúa y un coche de transferencia.

3.3.2. Limpieza

Una buena preparación de los perfiles de aluminio es directamente proporcional con la calidad del producto final, en esta parte del proceso se eliminan los residuos de

aceites, grasas, lubricantes y virutas que se encuentren impregnados en la superficie del perfil, estas impurezas pueden ser generadas por el mismo proceso de extrusión o por la manipulación manual de los perfiles de aluminio, la carga se sumerge por corto periodo de tiempo en una solución de desengrasante alcalino que ayudara a remover estas impurezas, posteriormente pasara por un enjuague el cual contiene agua osmotizada son el objetivo de evitar el arrastre de impurezas y del detergente alcalino.

Luego de remover las impurezas la carga esta lista para sumergirse en una tina con solución acida la cual ayudará a matizar los perfiles, esta solución contiene Bi fluoruro de amonio o como se lo conoce comercialmente Acid Etch, la cual provee un acabado mate en los perfiles, dicho aspecto mate es la diferenciación que tienen los productos fabricados en la empresa con los perfiles de aluminio de la competencia, eliminando el brillo particular del metal y ocultando pequeñas rayaduras que pudieran existir en el perfil, este tratamiento tiene un tiempo estimado de 3 min para después pasar por un enjuague.



FIGURA 3.6 DIFERENCIA DE UN PERFIL EN MF Y MATIZADO

(Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente la carga se sumerge en una tina de neutralizado que contiene agua y ácido sulfúrico en cantidades pequeñas, el objetivo de esta cuba es terminar de eliminar las impurezas, sombras, chorreados que se pudieran generar en los pasos previos, una vez que la carga fue neutralizada esta presta para ser anodizada.

3.3.3. Anodizado

El subproceso de anodizado consiste en la creación de una capa de óxido de aluminio en la superficie del metal, para lo cual la carga se sumerge en un electrolito compuesto de agua y ácido sulfúrico, en mayor proporción que el neutralizado, dicha solución está a una temperatura controlada de 20 ± 1 °C siendo esta una de las variables más importantes en esta parte del proceso, se aplica una corriente eléctrica de CC (corriente continua) entre los perfiles de aluminio que se especifica como el ánodo o terminal positivo, el electrolito (ácido sulfúrico y H₂O) y un terminal negativo que se lo

conoce como cátodo que están compuestas por barras de aluminio a los costados de la caba electrolítica.

Cuando se aplica la corriente continua a la solución electrolítica, el agua se descompone, provocando que el oxígeno se deposite en el ánodo formando las capa de oxido y el hidrogeno es liberado al ambiente en estado gaseoso (H_2). Esta reacción química forma el óxido de aluminio sobre la superficie del metal, la cual actuara como una protección adicional del metal contra la corrosión ambiental.

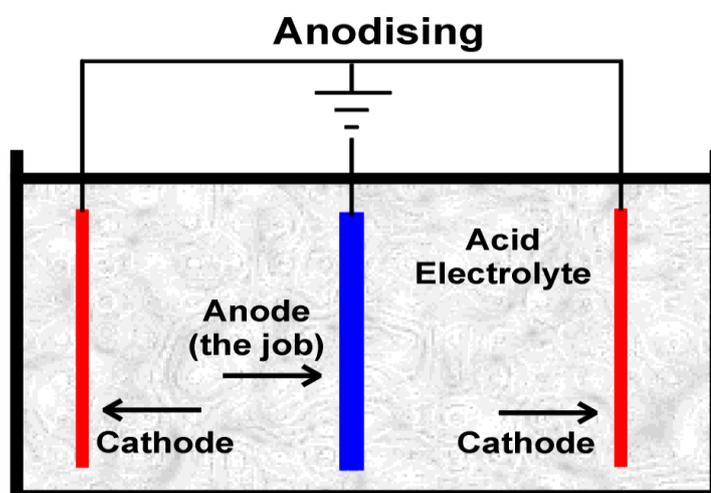


FIGURA 3.7 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL ANODIZADO

(Fuente: Ramirez & Ramirez 2009)

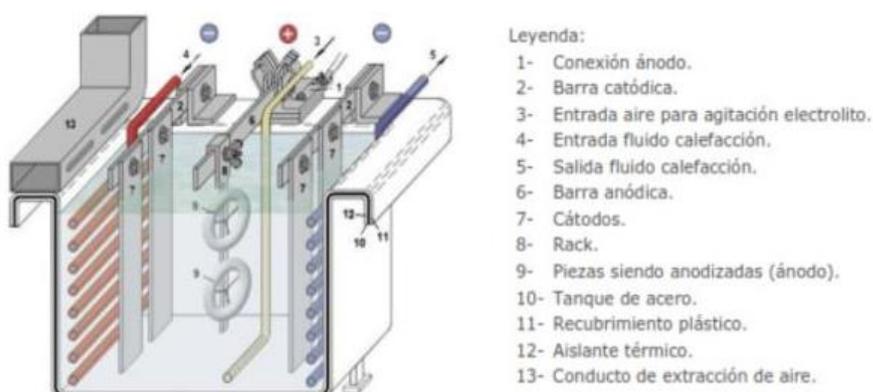


FIGURA 3.8 EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA CABA DE ANODIZADO

(Fuente: Barba Pingarrón 2014)

El espesor de capa anódica depende de su utilización final, estos pueden ser estructurales y arquitectónicas, tipo de acabado o simplemente algún requerimiento específico del cliente, los recubrimientos de menos de 10 micrones de espesor no se recomiendan para ambientes corrosivos. (Barba Pingarrón, 2014)

A continuación, se detalla la oferta correspondiente al espesor de capa anódica.

TABLA 10
ESPESOR DE CAPA ANÓDICA SEGÚN SU ACABADO

Código	Acabado	Espesor de capa anódica (Micras)
2	Natural	10 μm
14	Natural 20 micras	20 μm
17	Natural 15 micras	15 μm
3	Bronce Claro	13 μm
4	Bronce medio	14 μm
6	Negro	18 μm
7	Gris titanio	20 μm
8	Verde Acuario	20 μm
9	Champagne claro	13 μm
10	Champagne	13 μm
11	Azul Zafiro	20 μm
18	Negro medio 15 micras	15 μm

(Fuente: Departamento de producción)

Visto a través del microscopio la capa anódica es de forma hexagonal con un agujero en el centro la cual permite introducir tintes orgánicos o inorgánicos para obtener una variedad de tonos.

Una vez que se obtiene el espesor requerido de capa anódica, los perfiles de aluminio se retiran de la solución y se enjuaga para eliminar cualquier residuo ácido que pueda quedar en la superficie del perfil, en este instante el perfil de aluminio está listo para pasar a la siguiente etapa de coloración.

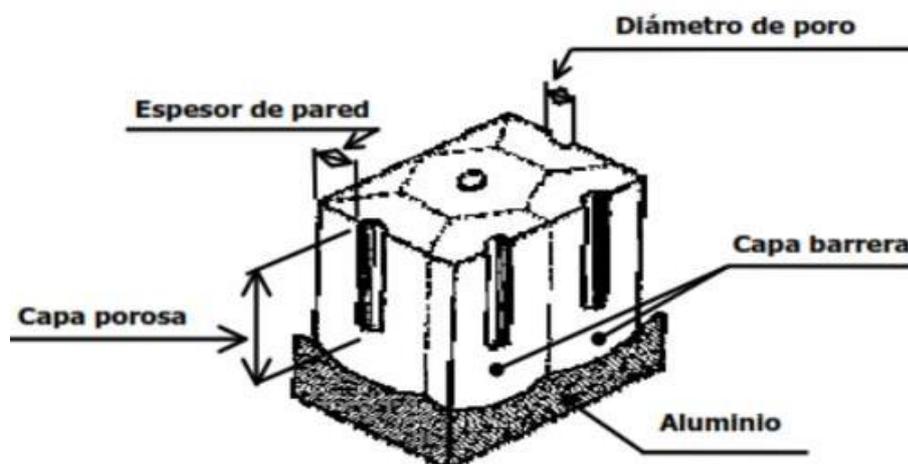


FIGURA 3.9 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS RECUBRIMIENTOS POROSOS OBTENIDOS EN EL ANODIZADO DE ALUMINIO

(Fuente: Ramirez & Ramirez 2009)

3.3.4. Electro coloración

Después del proceso de anodizado la capa anódica de estructura porosa es fuertemente absorbente, siendo una característica importante para la coloración del perfil de aluminio, los cuales se sumergen en un baño químico que contiene colorantes orgánicos o inorgánicos, en la empresa objeto de estudio utiliza un colorante inorgánico como lo es el sulfato de estaño (SnSO_4).

Los perfiles de aluminio son sumergidos en la solución de sulfato de estaño bajo condiciones eléctricas y temperatura cuidadosamente controladas, el tipo de coloración o la intensidad del mismo es directamente proporcional al tiempo de tratamiento del perfil, durante diversos períodos de tiempo los pigmentos inorgánicos son introducidos en las capas porosas mediante pequeños impulsos eléctricos para producir una variedad de colores, la empresa ofrece una gama de colores que van desde los 2 minutos hasta los 15 minutos de tratamiento en caso de requerir un color negro.

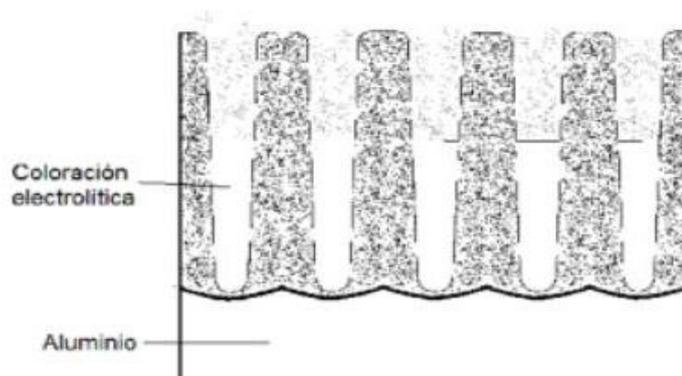


FIGURA 3.10 ABSORCIÓN DEL COLORANTE POR LA CAPA ANÓDICA

(Fuente: Ramirez & Ramirez, 2009)



FIGURA 3.11 OFERTA GAMA DE COLORES

(Fuente: Departamento de Calidad)

Como es característico del proceso de anodizado, después de un tratamiento químico o electro químico los perfiles se enjuagan antes de continuar con el siguiente proceso.

3.3.5. Sellado

Existen 2 métodos para el proceso de sellado, el primero es un tratamiento en agua a ebullición y el segundo método es con vapor de agua, el presente estudio se enfocará en el primero donde los perfiles de aluminio son sumergidos en una solución de acetato de níquel a una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5$, en el que se produce la obturación de los poros por la transformación de la alúmina en bohemita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Esta transformación va acompañada de un aumento de volumen de la capa anódica lo cual genera el cierre de la estructura porosa, el tiempo de tratamiento es variable ya que depende del espesor de capa anódica generado en el proceso de anodizado, por recomendaciones del proveedor se sugiere que el tiempo de tratamiento sea 1 minuto por cada micra.

El cierre de la capa porosa de los perfiles de aluminio se realiza para aumentar la resistencia a la corrosión, reduce drásticamente sus características absorbentes lo cual evita la absorción de suciedad y para los perfiles que tuvieron un tratamiento previo de electro coloración evita el cambio de tono de los perfiles a lo largo de los años en contacto con el medio ambiente.

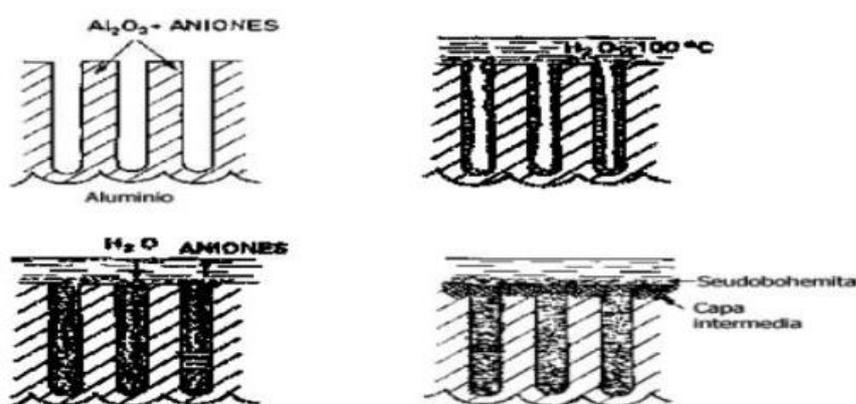


FIGURA 3.12 ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UN PROCESO DE SELLADO

(Fuente: Barba Pingarrón, 2014)

Una vez los perfiles están correctamente sellados pasan por un enjuague caliente que ayudara a secar los perfiles con mayor facilidad, finalmente los perfiles son ubicados en una estación de secado para posteriormente ser enviados mediante el puente grúa y el coche de transferencia a la etapa final de desenraque.

3.3.6. Desenraque

El subproceso de se desenraque es la etapa final del proceso de anodizado, en esta etapa se verifica atributos de los de los perfiles, atributos como: aspecto del perfil, matiz adecuado, ausencia de chorreados, tono correcto de color, también se verifican las variables de control como calidad de sello y espesor de capa anódica.



FIGURA 3.13 VERIFICACIÓN DEL ESPESOR DE CAPA ANÓDICA

(Fuente: Elaboración propia)

En esta etapa también se realiza un inventario final de los perfiles y así evitar un descuadre en el mismo, ya que es frecuente que los perfiles se enreden, se dañen o se caigan en las cubas durante el proceso, en caso de que esto suceda las unidades son dadas de baja en el sistema ERP.

TICKET DE ACABADOS									
FECHA				DIA		MES		AÑO	
TURNO				ENRACADORES NOMBRES		ACABADO		Rack No.	
5				SERRA		02		47	
A2				FO-AN-1		REG. ERP No.		DIGITADO POR:	
50000									
CANASTA	ALEACION	REFERENCIA	LARGO	ENRAQUE No. de Piezas	m2	DESENRAQUE N° de piezas	EMPAQUE N° Piezas Recibidas	DESTINO	
69	6063	1593	640	59	52	59			
Total				Total		DESENRAcado POR:		RESPONSABLE	
						LAJE - BASTIDAS			
ANODIZADO LIBERADO POR:						EMPAQUE RECIBIDO POR:			

FIGURA 3.14 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL TICKET DE ACABADO

(Fuente: Departamento de producción)

El ticket es revisado por el Operador 1, quien corrobora que la información sea correcta, que el número de piezas físicas coincidan con el número de piezas estipuladas en el ticket, se añade los nombres de los responsables de desenraque y la firma del responsable de liberar el material.

Una vez validada toda la información los perfiles de aluminio son ubicados en unas canastillas para posteriormente ser entregadas al área de empaque.

CAPÍTULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1. Definir

La etapa definir está completamente detallada en el capítulo 1, en sus antecedentes y planteamiento del problema, motivo por el cual esta sección se enfocará en la conformación del equipo del trabajo.

La conformación del equipo de trabajo fue estratégicamente seleccionada de modo que participe el personal operativo en los diferentes turnos de trabajos, se incluyó a personal de las diferentes áreas como empaque, mantenimiento y control de calidad, con el fin de que ellos aporten con su conocimiento y experiencia sobre el proceso de Anodizado, se realice la retro alimentación sobre los problemas y también ayudar a plantear soluciones para el área desde otro punto de vista.

TABLA 11
MIEMBROS DEL EQUIPO DE MEJORA

Miembros del equipo		
1	D. M.	Jefe de acabados
2	J. C.	Control de procesos
3	L. A.	Control de calidad
4	E. F.	Laboratorio
5	J. Y.	Operador 1
6	J. A.	Operador 1
7	J. A.	Operador de Color
8	A. A.	Operador de Color
9	R. T.	Supervisor de empaque
10	H. A.	Dosificador
11	J. C.	Supervisor de Mantenimiento

(Fuente: Elaboración propia)

Esta información y otra crucial para el desarrollo del proyecto se lo puede encontrar a más detalle en el Project charter ubicado en el anexo A.

4.2. Medir

En la fase medir se van a establecer los métricos de medida, así como también los instrumentos a utilizar para la toma de datos, mismos que serán de mucha importancia para definir el estado actual del proceso.

Como se ha mencionado en el planteamiento del problema de este proyecto de titulación, la problemática que se intentará resolver mediante la implementación de la metodología Six Sigma es reducir el porcentaje de reproceso en el área de Anodizado, primero se analizarán los defectos que mayor impacto generen.

Por lo tanto, el primer paso es crear una base de datos en hojas de cálculo de Excel las cuales deben ser sólidas y confiables, partiendo como fuente de información el ticket de reproceso generado por el personal de empaque, el mismo que detalla más a profundidad los tipos de defectos que generan la no conformidad, a diferencia del sistema ERP que se limita a realizar un control de inventarios, tomando esta consideración el sistema ERP no ofrece la información necesaria para un análisis de mejora continua.

Orden de almacenaje

Archivo Editar Ver Herramientas Especifico Ayuda

Orden: Transferecia (manual) EMP034807 Stock bloqueado

Tipo de mov. de stock: Transferecia

Expedidor: Código 160 Almacén FOEMPA
EMPAQUE POR EMPACAR

Receptor: Código 160 Almacén F02
NATURAL

Dirección: DHR000001 CEDAL DURAN S.A.

Ubicación: 214 CANASTA 214

Fecha/Hora de entrega: 13/11/2020 09:30

Fecha de recepción: 13/11/2020 09:30

Información de orden: Serie EMP EMPAQUE
Tipo de orden de alm. TAU TRANSFERENCIA AUTOMATICA

Transferecia de artículo: De A2232 02 640T501 En A2232 640T501

Lineas de entrada Lineas de salida Actividades Lineas de recepción Lineas de expedición

Linea	Artículo	Descripción ampliada	Lote	Cantidad pedida	Cantidad pedida en unidad	Cantidad recibida en unidad
1 1	A2232 640T501	ENTRECIERRE FIJO	Especifico 216	24,0000 u	24,0000 u	24,0000 u

FIGURA 4.1 INTERFAZ DE REGISTRO DE REPROCESO

(Fuente: Sistema ERP departamento de empaque)

Como se observa en la figura 4.2, el ticket de reproceso dispone de una casilla para insertar el código de la no conformidad, misma que va relacionada con el tipo de defecto presente en los perfiles de aluminio.

Durán **TICKET DE REPROCESO**

	UBICACION	200			CANASTA N°	2201
DD	MM	AÑO	TURNO			
			1	2	3	

ALEACIÓN	REFERENCIA	ACABADO	LARGO	PIEZAS	COD. CAUSA	OBSERVACIÓN
14	3968	012	600	11	035	EMPO33337-116.09 KG
20	3960	014	520	8	036	EMPO33338-51.37 KG
131	3964	014	600	6	044	EMPO33339-53.17 KG
001	4192	02	488	8	043	EMPO33340-19.98 KG

FO-EQ-002

ANODIZADO
NOMBRE Y APELLIDO

[Firma]
EMPAQUE
NOMBRE Y APELLIDO

Lo Arcos
CONTROL DE CALIDAD
NOMBRE Y APELLIDO

FIGURA 4.2 TICKET DE REPROCESO

(Fuente: Departamento de empaque)

**TABLA 12
CÓDIGOS DE TIPOS DE DEFECTO**

CODIGO	TIPOS DE DEFECTO	CODIGO	TIPOS DE DEFECTO
29	PITTING	45	MAL - SELLADO
30	PIEL NARANJA	46	CLARAS
33	CORROSION DE AGUA	47	OBSCURAS
34	MARCA - HUELLAS	48	DESPRENDIMIENTO CAPA ANODICA
35	MANCHAS NEGRAS	49	QUEMADA
36	FLOJA - FLAMEADA	51	ERROR - OPERACIÓN
37	PEGADAS	52	DOS TONOS
38	MANCHAS DE GRASA	53	GOLPES - MALTRATO
39	MANCHAS BLANCAS	54	POLVILLO
40	PICADO BLANCO	55	CORTE DE ENERGIA ELECTRICA
41	PICADO NEGRO	56	FALLO RECTIFICADORES
42	LODOS RESIDUOS QUIMICOS	86	PRUEBAS
43	CHORREADO	87	BAJO MICRAJE
44	MAL DECAPADO	88	SMUT

(Fuente: Departamento de control de calidad)

Una vez recolectada la información de los tickets de reproceso, se implementó una base de datos en Excel, la cual ayudó al análisis de los tipos de defectos que generan el reproceso durante el periodo que comprende enero del 2020 y junio del 2020, a continuación, se detalla el diagrama de Pareto con el análisis de tipo de defectos.

El diagrama de Pareto de producción bruta representa los 3 subgrupos que afectan el recobrado del área, la producción neta que son todos los perfiles de aluminio con una buena calidad, el reproceso que son los perfiles que no cumplen con las

especificaciones y rechazo que son los perfiles que se los envía a chatarra para su posterior fundición continuando con el proceso de reciclaje del aluminio.

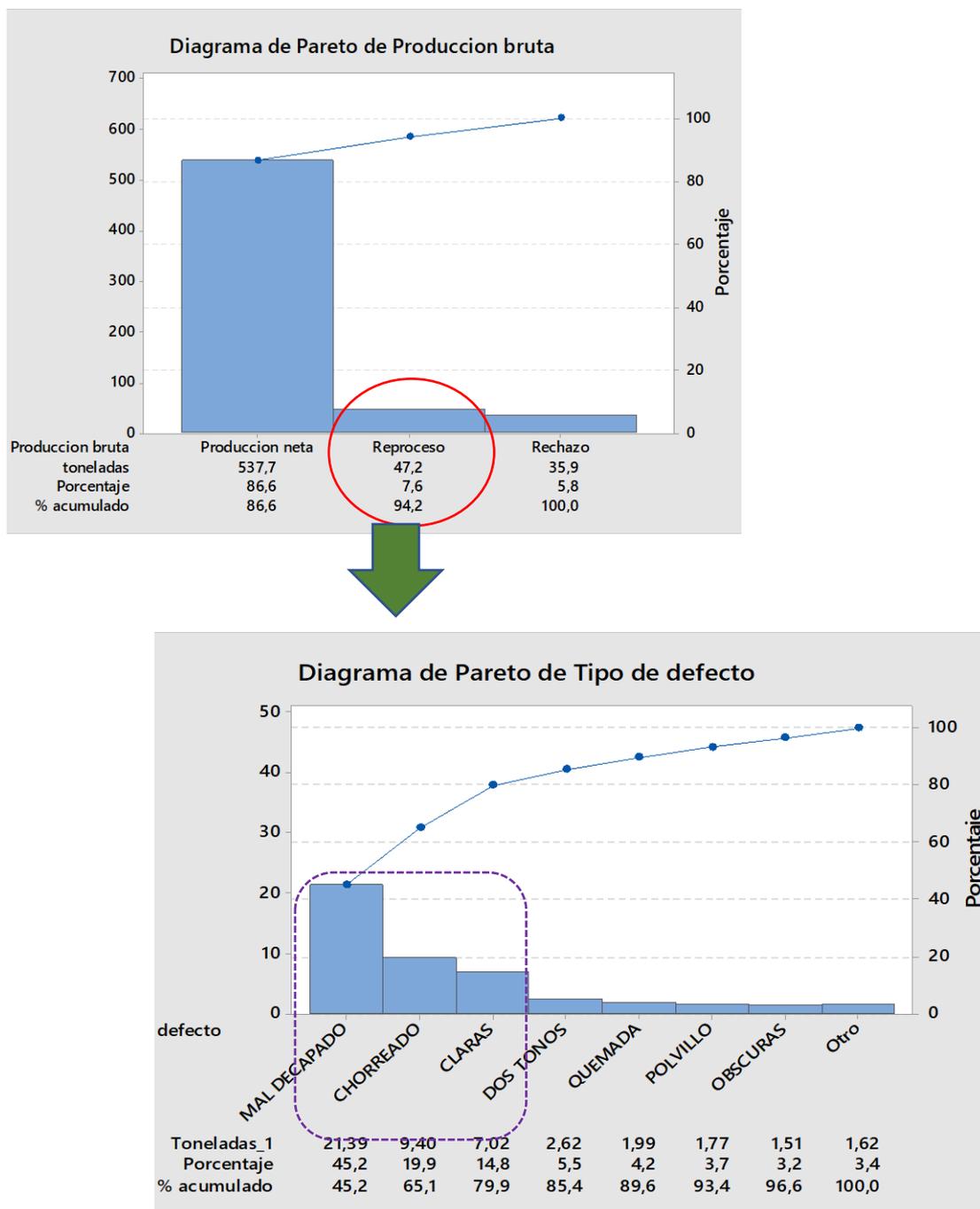


FIGURA 4.3 ESTRATIFICACIÓN POR TIPO DE DEFECTO

(Fuente: Departamento de producción)

Haciendo relación a la regla del 80-20 se define que los defectos que están generando el 80% de reproceso son 3, los mismos que serán planteados y analizados con la herramienta 5w1h.

TABLA 13
CUANTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS ENFOCADOS

Defecto enfocado 1			
Reproceso de perfiles de aluminio por defecto de mal decapado	Reproceso total	Defecto	Total
Porcentaje total del defecto:	7,6%	45,2%	3,4%
Defecto enfocado 2			
Reproceso de perfiles de aluminio por Chorreado	Reproceso total	Defecto	Total
Porcentaje total del defecto:	7,6%	19,90%	1,51%
Defecto enfocado 3			
Reproceso de perfiles de aluminio por Claras	Reproceso total	Defecto	Total
Porcentaje total del defecto:	7,6%	14,08%	1,07%

(Fuente: Elaboración propia)

TABLA 14
5W1H PARA TIPO DE DEFECTO

Declaración del problema 1	
what	3,4% de reproceso por el defecto de mal decapado
How	Matizado no uniforme del perfil
Which	Exceso de lodo en suspensión o en el fondo de la cuba, T° baja, concentración baja
When	Durante el proceso de matizado del perfil
Where	Cuba del Ae
Who	N/A
Declaración del problema 2	
what	1,51% de reproceso por el defecto de chorreado
How	Se presentan manchas o chorreados en la superficie del perfil
Which	El exceso de lodo se pega en la superficie del perfil, T° baja, concentración baja
When	En el proceso de limpieza del perfil
Where	Cuba de sosa caustica
Who	N/A
Declaración del problema 3	
what	1,07% de reproceso por el defecto de claras
How	El tono de color de los perfiles varía con respecto al patrón de liberación
Which	Los perfiles de la parte inferior tienden a obtener colores más claros
When	Proceso de electro coloración
Where	Naturales y electro color
Who	N/A

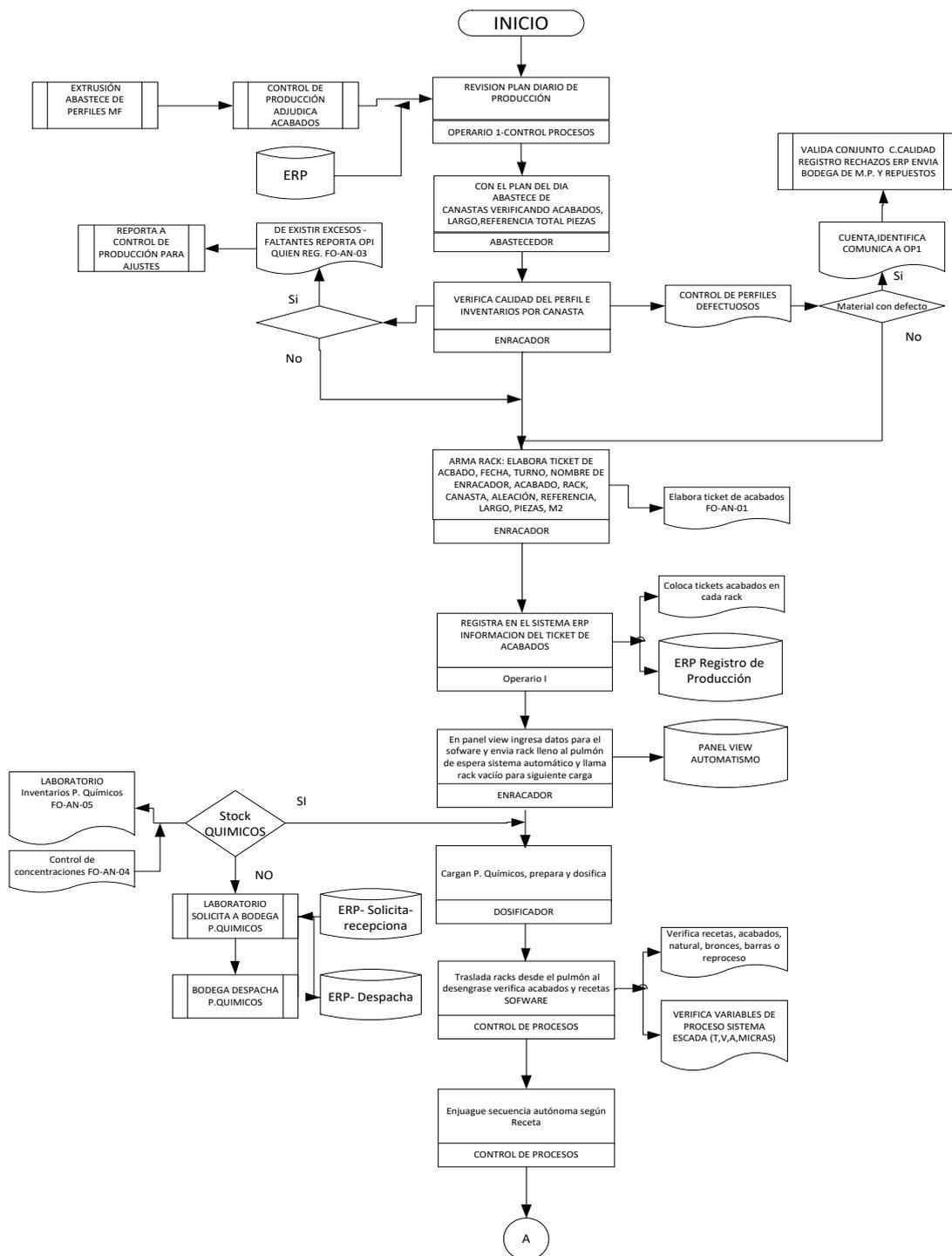
(Fuente: Elaboración propia)

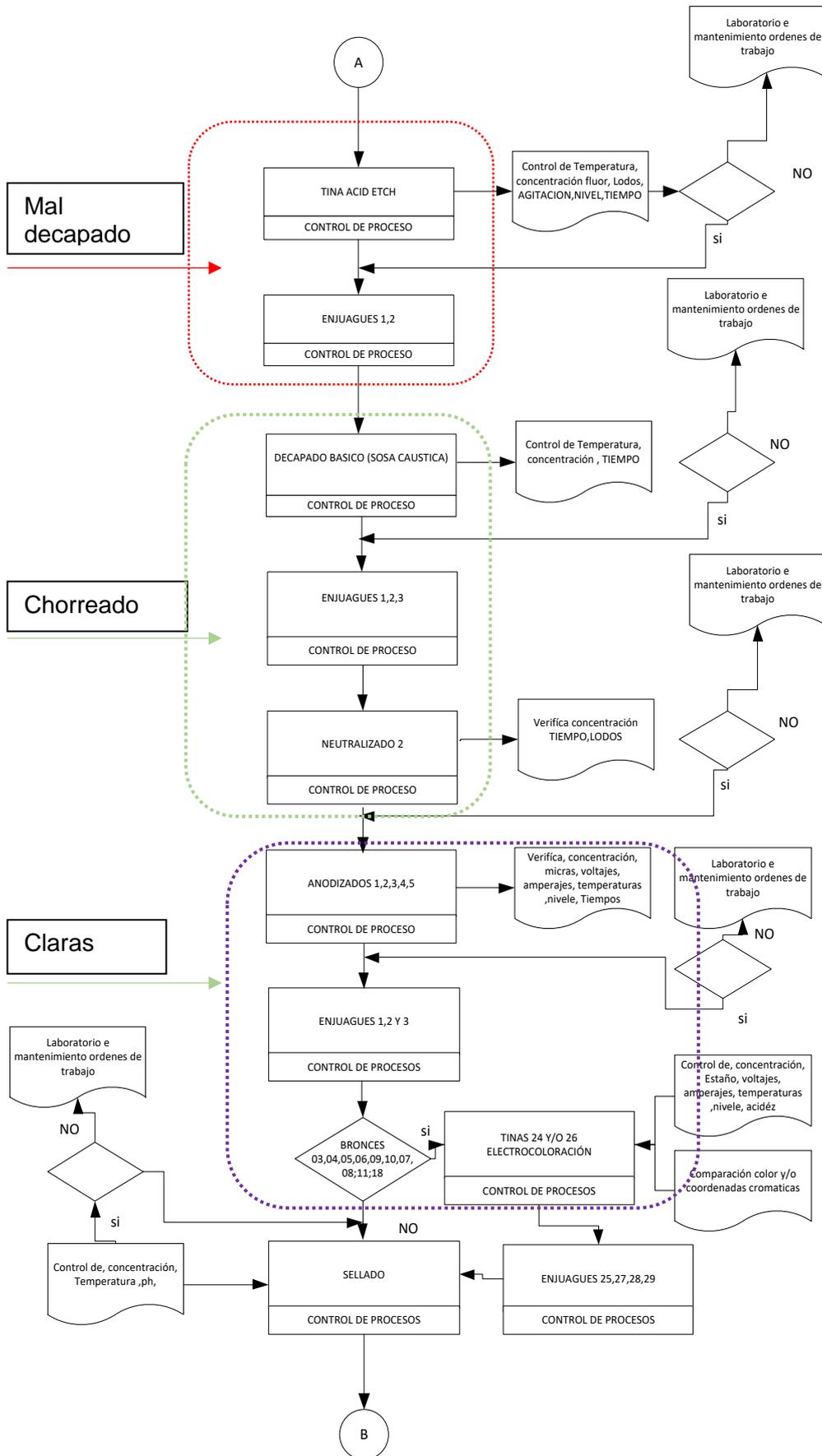
TABLA 15
IMÁGENES POR TIPO DE DEFECTO

Descripción de defectos	
	Mal decapado.
	Chorreado.
	Claros

(Fuente: Elaboración propia)

El presente proyecto de mejora se desarrollará en base a los 3 defectos planteados anteriormente, para minimizar o eliminar su incidencia con el objetivo de disminuir el porcentaje de reproceso del área, para lo cual se mostrará el diagrama de flujo para un mejor entendimiento del proceso y ubicar el subproceso donde se generan.





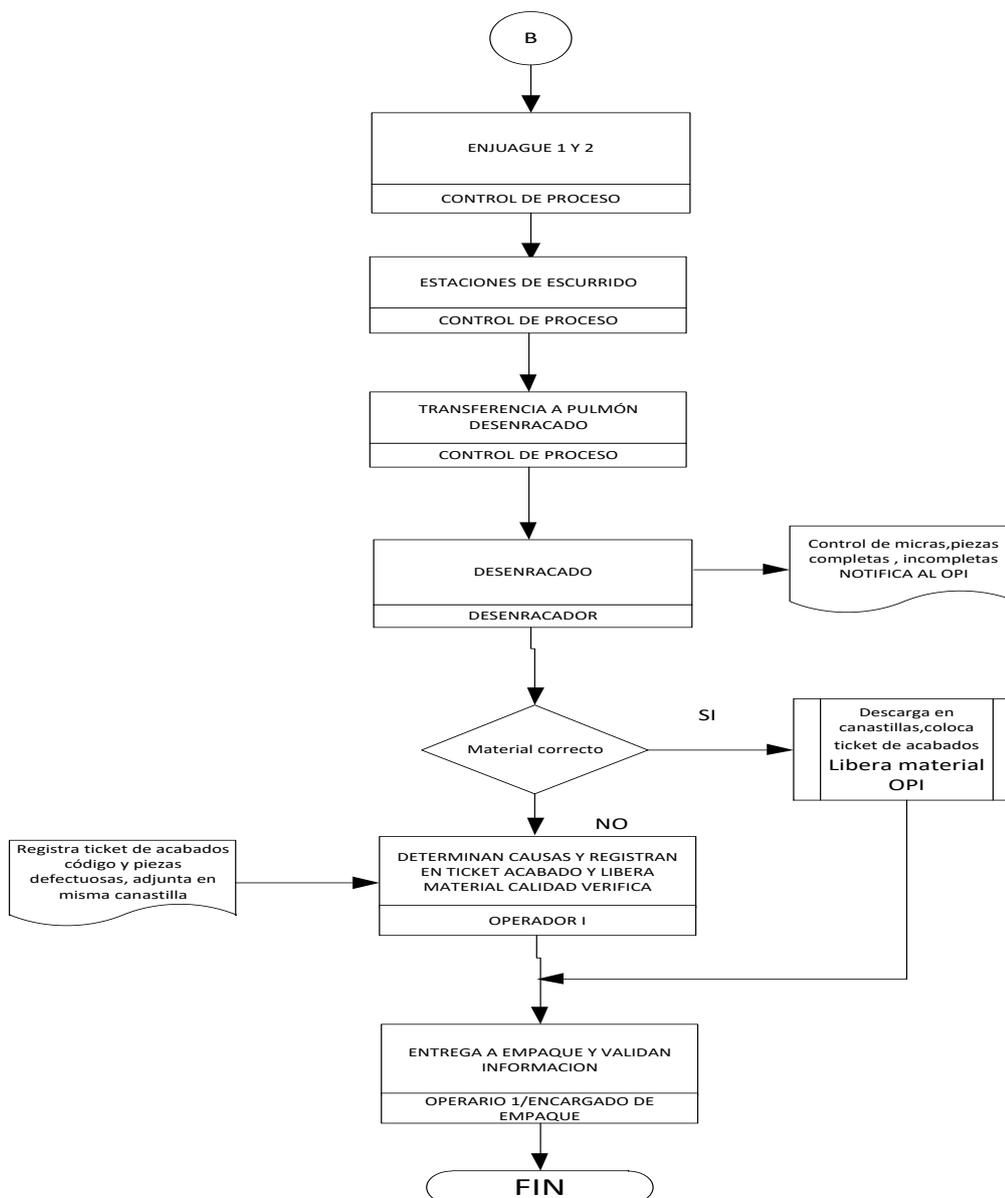


FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ANODIZADO

(Fuente: Departamento de producción)

3.3.6. Plan de recolección de datos

Para los investigadores los datos constituyen la materia prima del proyecto, debido a que, componen el cuerpo de información de los objetos, hechos o fenómenos de estudio, el proceso de recolección de datos depende de muchos factores, no solo de la o las técnicas escogidas, sino también del problema, del objetivo del problema, del tamaño de la muestra seleccionada, de la hipótesis del problema entre otros.

Existen 2 tipos de datos: los datos primarios y los datos secundarios.

Los datos primarios son aquellos que se generan a través del Gemba, no siempre es necesario tener un respaldo estadístico para proponer una mejora en una actividad o proceso, también se puede plantear soluciones e ideas de mejora realizando observaciones directas.

El realizar un recorrido rutinario por la planta ayuda a conocer más a fondo el proceso, operadores, maquinaria, ayudan a identificar actividades que agregan o no valor, fabricas ocultas, cuellos de botella, deficiencia en los procesos, fuentes de desperdicio, condiciones inseguras de trabajo, todo esto ayuda a tener una idea más clara de la realidad del proceso con lo cual se generaran oportunidades de mejora. (Niño Rojas, 2011)

El padre del movimiento lean el Dr. Jim Womack manifiesta en su libro **Gemba walks** que, incorporar a los responsables de los procesos en la búsqueda e implementación de soluciones a los problemas es la mejor forma de mostrar respeto y consideración hacia ellos, en virtud que, puedan formar parte en la mejora de su propio trabajo, de esa manera acrecienta la intervención de los trabajadores, la aprobación de la solución y la sostenibilidad de la misma. (Womack, 2011)

Como lo manifiesta Womack el Gemba también ayuda a la relación y confianza entre el líder del proyecto y los responsables del proceso, de ahí la importancia del mismo.

Los datos secundarios se obtienen mediante la mediación de variables, estas pueden ser de tipo cualitativos o cuantitativos, se denominan cuantitativas a las variables que pueden ser medidas en una escala numérica la cual se puede subdividir en n partes, estas variables son las más utilizadas debido a la gran cantidad de instrumentos existentes para su medición, variables cualitativas o atributos son aquellas que describen alguna característica en la que los posibles resultados no son valores numéricos. (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014)

Sin importar la naturaleza de los datos lo importante es registrar la información recopilada para un posterior análisis. (Niño Rojas, 2011)

En estas instancias ya se ha determinado el problema que se quiere resolver y los subprocesos que intervienen, el siguiente paso es intentar entender las razones por las cuales se están generando las no conformidades, para lo cual se desarrollará un plan de recolección de datos, la cual brindará información muy importante como la cronología, responsable, frecuencia de la generación de datos entre otros.

**TABLA 16
PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

PLAN DE RECOLECCION DE DATOS						
CAUSA	VARIABLE A MEDIR	TIPO DE VARIABLE	FRECUENCIA	QUIEN LO MIDE	FECHA	DONDE SE REGISTRA LA INFORMACION
Mal decapado	Porcentaje de lodo cuba del AE	Cuantitativa Continua	1 muestra/turno	Operador de color/dosificador	7/2020	Formato porcentaje de lodos
	Temperatura cuba del AE	Cuantitativa Continua	1 muestra/turno	Control de procesos	7/2020	Reporte de temperaturas Excel
	Concentración cuba del AE	Cuantitativa Continua	2 muestras/día	Laboratorista	7/2020	Control de concentraciones
Chorroado	Concentración de la sosa	Cuantitativa Continua	2 muestras/día	Laboratorista	7/2020	Control de concentraciones
	Concentración de aluminio disuelto	Cuantitativa Continua	2 muestras/día	Laboratorista	7/2020	Control de concentraciones
Claros	Espesor de capa anódica	Cuantitativa Continua	30 muestras por natural/5 naturales por día	Operador de color	6/2020	Control de capa anódica
	Coordenadas de color	Cuantitativa Continua	30 muestras por natural/5 naturales por día	Operador de color	7/2020	Reporte de temperaturas Excel
	Concentración Naturales	Cuantitativa Continua	1 veces/turno	Laboratorista	6/2020	Control de concentraciones
	Concentración Electro color	Cuantitativa Continua	2 muestras/día	Laboratorista	6/2020	Control de concentraciones

(Fuente: Elaboración propia)

3.3.7. Instrumentos de medición

Para la recolección de datos se utilizará un sin fin de equipos que van desde termómetros, termocuplas, equipos de laboratorio, entre otros, pero los más relevantes son los utilizados para la medición del espesor de capa anódica y medición del tono de color.

Medidor de capa anódica

El positector 6000 NS3 es un medidor de espesor de capa anódica, ergonómico y versátil que tiene la posibilidad de cambiar las sondas de lecturas dependiendo el metal a ser medidos, estos pueden ser metales férricos como en no férricos.



FIGURA 4.5 POSITECTOR 6000 NS3
(Fuente: DeFelsko Inspection Instruments)

La nomenclatura del modelo depende el tipo de metal:

- **F** para metales férricos como el hierro fundido y el acero
- **N** para metales no férricos como el cobre, aluminio y latón
- **FN** para todos los sustratos de metal como acero galvanizado

Para el presente estudio de investigación se utilizará el de la serie N, debido a que el metal a ser evaluado es el Aluminio (DeFelsko Inspection Instrument, 2020)

Medidor de color



FIGURA 4.6 COLORÍMETRO CR-410
(Fuente: Konica Minolta)

El medidor de colorimetría CR-410 o colorímetro como se le denomina internamente es un instrumento versátil ,pequeño, portátil y ligero diseñado para evaluar el color de las superficies de objetos mediante fórmulas estandarizadas, es un instrumento confiable y de muy alta precisión que ayuda a identificar las diferencias de color entre un objeto versus un patrón establecido, adicional brinda evaluaciones de aprobación o rechazo para determinar inmediatamente si la muestra cumple o no con los estándares definidos.

Esta capacidad de interpretación hace que el colorímetro sea ideal para inspecciones de color de alimentos, materiales de construcción, aplicaciones textiles entre otras.

El análisis del color está sujeto a una percepción e interpretación de manera subjetiva, porque depende de varios factores, tales como: el observador, la distancia, textura, la iluminación o las propias características de la superficie del objeto, por ejemplo dos individuos mirando un mismo objeto pueden tener puntos de vista diferentes y al mismo instante describir el mismo color con palabras distintas, para evitar esta diferencia de percepción y asegurar que el objeto en estudio cumpla con los estándares establecidos, el color es expresado en términos numéricos y en este caso se utiliza el espacio en coordenadas $L^*a^*b^*$.

El espacio de color en coordenadas $L^*a^*b^*$ fue desarrollado en base a una teoría de color oponente, la cual establece que dos colores no pueden ser amarillo y azul al mismo tiempo, rojo y verde al mismo tiempo, donde cada eje está asociada a un color principal.

L^* =luminosidad

a^* = coordenadas rojo/verde donde +a indica rojo y -a indica verde

b^* = coordenadas amarillo/azul donde +b indica amarillo y -b indica azul

Estos datos pueden ser utilizados para ajustar los componentes de color. (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., 2020)

A pesar de estar seguros de que dos colores son iguales, se pueden encontrar muchas diferencias si se evalúan con el colorímetro, si el color de una muestra no cumple con el estándar establecido, la satisfacción del cliente puede estar comprometida, por ende, la cantidad de trabajo y costos incrementarán.

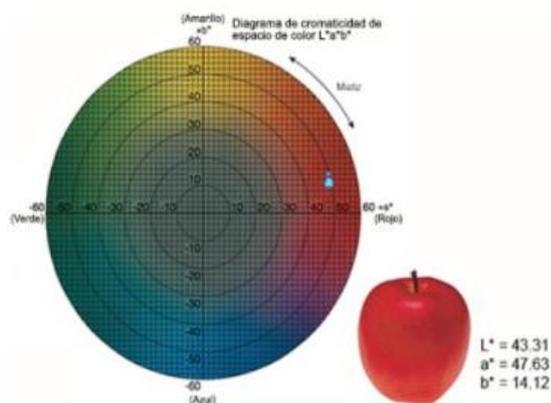


FIGURA 4.7 COORDENADAS DE COLOR EN EL SISTEMA HUNTER LAB

(Fuente: Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)

La diferencia de color (ΔE) está definida por la comparación numérica de una muestra con el patrón establecido, por ende, el delta de color está definido por las diferencias

de cada eje principal, ΔL , Δa y Δb estos pueden ser positivas o negativas, pero la diferencia total siempre es positiva, a continuación, se muestra la fórmula del cálculo del delta de color.

$$\Delta L = \sqrt{\Delta L^2 + b\Delta a^2 + \Delta b^2}$$

ΔL = Diferencia en luz y oscuridad

Δa = Diferencia en rojo y verde

Δb = Diferencia en amarillo y azul

ΔE = Diferencia total de color

Un valor final del ΔE por encima de 2,3 representa una diferencia considerable en el tono de color (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)

4.2.3. Revisión de mediciones de muestras por operador y naturales.

Para tener una mejor idea del proceso actual antes de ingresar a la etapa de análisis se realizó una prueba piloto para analizar el desempeño de 2 variables críticas basadas en la experiencia y el gemba walking.

Se analizan las variables que pudieran originar el defecto de mal decapado, como se explicó anteriormente este defecto se genera en concreto en la cuba del AE, esto puede ser debido a una descompensación en la concentración, exceso de lodos presentes en la solución y una baja temperatura, al realizar un análisis rápido se deduce que existe mucha variabilidad en los datos de porcentaje de lodos obtenidos mediante los operados de grúas, motivo por el cual se procede a un análisis más a fondo de los datos con el fin de comparar las muestras de los operadores.

Para la resolución de problemas estadísticos se utilizará el software Minitab, el cual posea una interfaz amigable y es de fácil manejo.

A continuación, se muestra la tabla con los porcentajes de lodos en un periodo de 8 días laborables.

TABLA 17
RECOLECCIÓN DE MUESTRAS PORCENTAJE DE LODOS PRUEBA PILOTO

DIA	ANGEL	HENRY	JEAN
1	8%	8%	10%
2	4%	6%	11%
3	8%	8%	12%
4	6%	4%	11%
5	10%	9%	11%
6	8%	8%	10%
7	4%	9%	12%

8	3%	8%	8%
---	----	----	----

(Fuente: Departamento de producción)

La toma de muestras se realizó con 3 diferentes operadores, quienes serán los encargados de ayudar a recopilar la información para el presente proyecto, debido a que cada uno de ellos es el responsable de monitorear las variables en cada turno de trabajo, la frecuencia diaria de toma de muestra será de 3 muestras por día, las cuales corresponden a una muestra por cada turno de 8 horas, los datos mostrados anteriormente fueron tomados en el mismo lapso de tiempo con el fin de analizar el procedimiento para recolectar la muestra, haciendo un breve análisis se puede observar que existe mucha diferencia entre las muestras recolectadas por cada operador, por tal motivo se procede a realizar un análisis anova para tener mayor certeza de lo planteado con anterioridad.

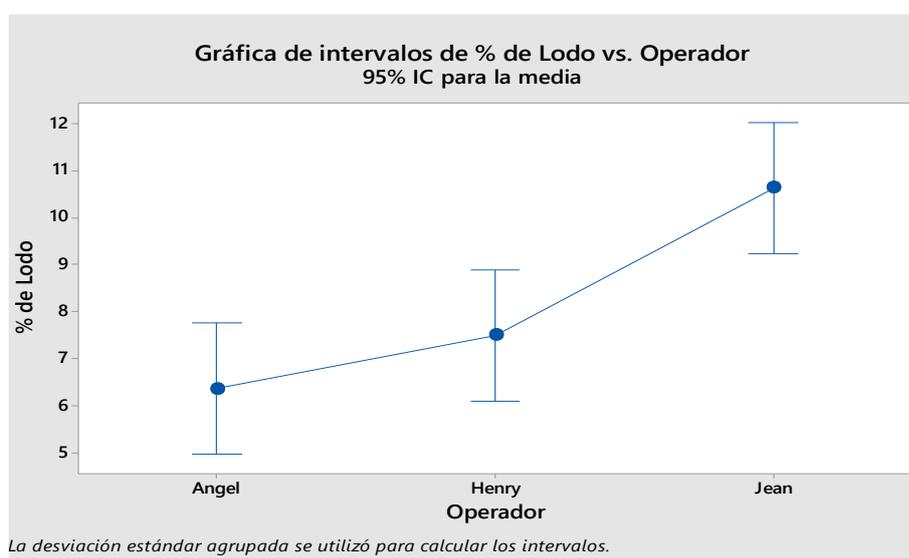


FIGURA 4.8 ANOVA OPERADORES VS PORCENTAJE DE LODO

(Fuente: Departamento de producción)

ANOVA de un solo factor: ANGEL; HENRY; JEAN

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	77,58	38,792	10,75	0,001

Error	21	75,75	3,607
Total	23	153,33	

Al realizar el análisis del Anova con un 95% de confianza, se puede observar que el modelo tiene un valor $p = 0001$, lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que establecía que las medias de los operadores eran iguales, de igual manera se puede visualizar en la figura 4.8 que las medias de los operadores son diferentes.

En vista que la confiabilidad de los datos no es la adecuada y para tener una mayor certeza de los datos en la etapa de análisis, se procede a realizar un instructivo donde se especifica el procedimiento para la recolección de las muestras, este documento se lo puede encontrar en su totalidad en el anexo B.

De igual manera se escogió otra variable basado en la experiencia y conjuntamente con el equipo de mejora para un análisis preliminar, la cual es el espesor de capa anódica, del análisis preliminar del proceso también se pudo determinar una excesiva variación en las cubas de anodizado o naturales como se lo denomina internamente, de lo explicado anteriormente el área dispone de 5 cubas de anodizado, las cuales se dividen en 2 tipos de capacidades amperaje, 3 naturales que trabajan a 19 v y 16000 amperios y 2 naturales que trabajan a 19v y 8000 amperios, los cuales están alternados uno con otro, es decir, n1, n3, n5 16000 amperios y n2, n4 8000 amperios.

A continuación, se muestra el resumen de los datos obtenidos del análisis previo, los valores expresados están en unidades de micras.

Tabla 18
RECOLECCIÓN DE DATOS ESPESOR DE CAPA ANÓDICA PRUEBA PILOTO

Muestra	Día	Natural1	Natural2	Natural3	Natural4	Natural5
1	1	15	10	15,5	12	13,5
2	1	16	12	16	14	13,5
3	1	18	14	18	15	16,5
4	1	16	10	14,5	11	14
5	1	16	11	15	11,5	14,5
6	1	18	15	18,5	14,5	17
7	2	14	13	14,5	10,5	12,5
8	2	14	13,5	14,5	11	15
9	2	17,5	16	19	15	16
10	2	15	12	14	15	13
11	2	18	12,5	14	10,5	15
12	2	16	16	16	15,5	16,5
13	3	15	14	16	10	16
14	3	16	14	16	10,5	16
15	3	16	16	17,5	12	17,5
16	3	14	13,5	15	14,5	15,5
17	3	14	14,5	16,5	11,5	15,5
18	3	17	14	18	12,5	17,5
19	4	14	15	16	10	16,5

20	4	15	12	16	10,5	17,5
21	4	18,5	13	18	12	19,5
22	4	16	15,5	16	14,5	16
23	4	16	12,5	16,5	11,5	17
24	4	18	12,5	19	12	18,5
25	5	15	9,5	17	11	16
26	5	16	11,5	17,5	11	16
27	5	15	14	18	13,5	18
28	5	16	10,5	17	15,5	16
29	5	16	11,5	17,5	11,5	15,5
30	5	19	12	18	14	17,5

(Fuente: Departamento de producción)

Una vez recolectada la información durante 5 días laborables, se procede a realizar un anova para comparar las medias de las muestras de los naturales.

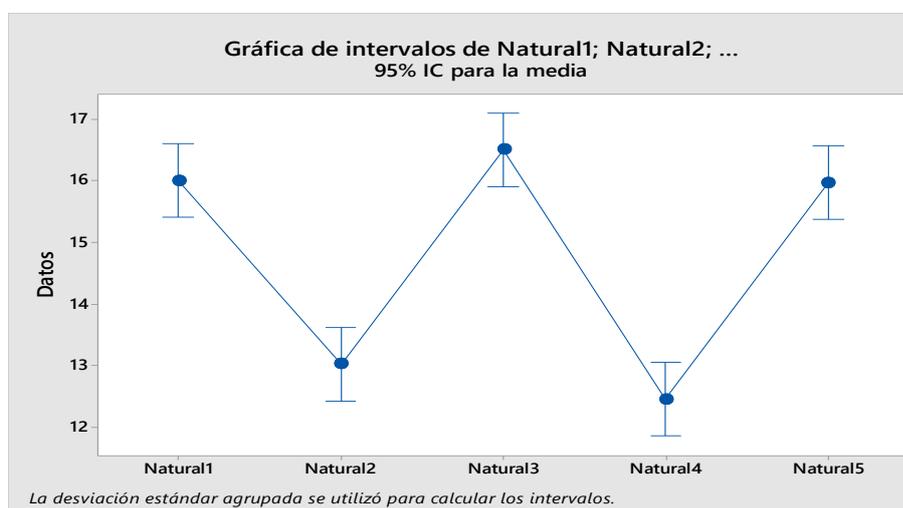


FIGURA 4.9 ANOVA ESPESOR DE CAPA ANÓDICA NATURALES

(Fuente: Departamento de producción)

Mediante la figura 4.9 se evidencia que las medias de los naturales son diferentes, sin embargo, se puede relacionar los naturales según su capacidad de amperaje, se puede observar que el natural 1,3,5, tienen una capacidad de amperaje de 16 mil cada uno tienen medias similares, de la misma manera se puede generar relación entre los naturales 2 y 4 que tienen una capacidad de 8 mil amperios cada uno, para corroborar dicha afirmación se procede a realizar un análisis “t de dos muestras” entre los naturales 2 y 4 para afirmar o rechazar la hipótesis, que afirma que sus medias son iguales.

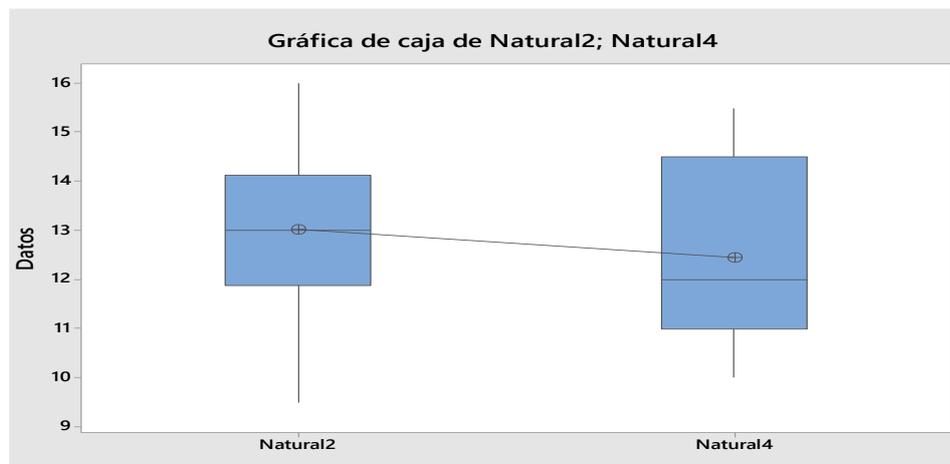


FIGURA 4.10 ANOVA COMPARACIÓN DE NATURALES

(Fuente: Departamento de producción)

Prueba T e IC de dos muestras: Natural2; Natural4

Método

μ_1 : media de Natural2

μ_2 : media de Natural4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1,20	57	0,237

Del análisis t de dos muestras se obtiene como resultado un valor $p=0,237$, por lo que existe suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula, la cual indica que efectivamente las medias de los naturales 2 y 4 son iguales.

Una de las condiciones para un proyecto de mejora continua es disponer de un proceso medianamente estable, para lo cual se procede a calibrar los equipos ANOTRON, que son microprocesadores encargados de la calibración del espesor de capa anódica en tiempo real durante el proceso de anodizado.



FIGURA 4.11 ANOTRON SG8 PARA CONTROL DE ESPESOR DE CAPA ANÓDICA.

(Fuente: Departamento de Mantenimiento)

4.3. Analizar

En la fase de analizar se hará uso de la data recolectada en la fase anterior, adicional se trabajará en conjunto con los dueños del proceso y todo el equipo de mejora para encontrar las posibles causas raíces de los problemas, además de proponer soluciones mediante lluvia de ideas, para lo cual se elaborará el diagrama Ishikawa por cada tipo de defecto.

Como ya se planteó anteriormente el porcentaje de reproceso es afectado directamente por 3 tipos de defectos, por ende, se realizará un análisis para cada uno ellos, debido a que cada defecto es generado en un subproceso diferente.

Estos diagramas fueron elaborados conjuntamente con el personal de proceso, miembros del equipo de mejora, supervisor de producción, analista de laboratorio y el jefe departamental, fueron todos ellos quienes aportaron con sus ideas, encontraron las posibles causas de la no conformidad y de igual manera se generaron soluciones a las mismas.

Cabe recalcar que al momento de realizar el análisis de los subprocesos no existían cartas de control establecidas, ni un análisis de capacidad previo, motivo por el cual solo se tomará en consideración el análisis de capacidad a largo plazo Ppk, mismo que considera la posición de la media respecto a las especificaciones del proceso.

A continuación, se muestran los diagramas Ishikawa para cada uno de los defectos establecidos.

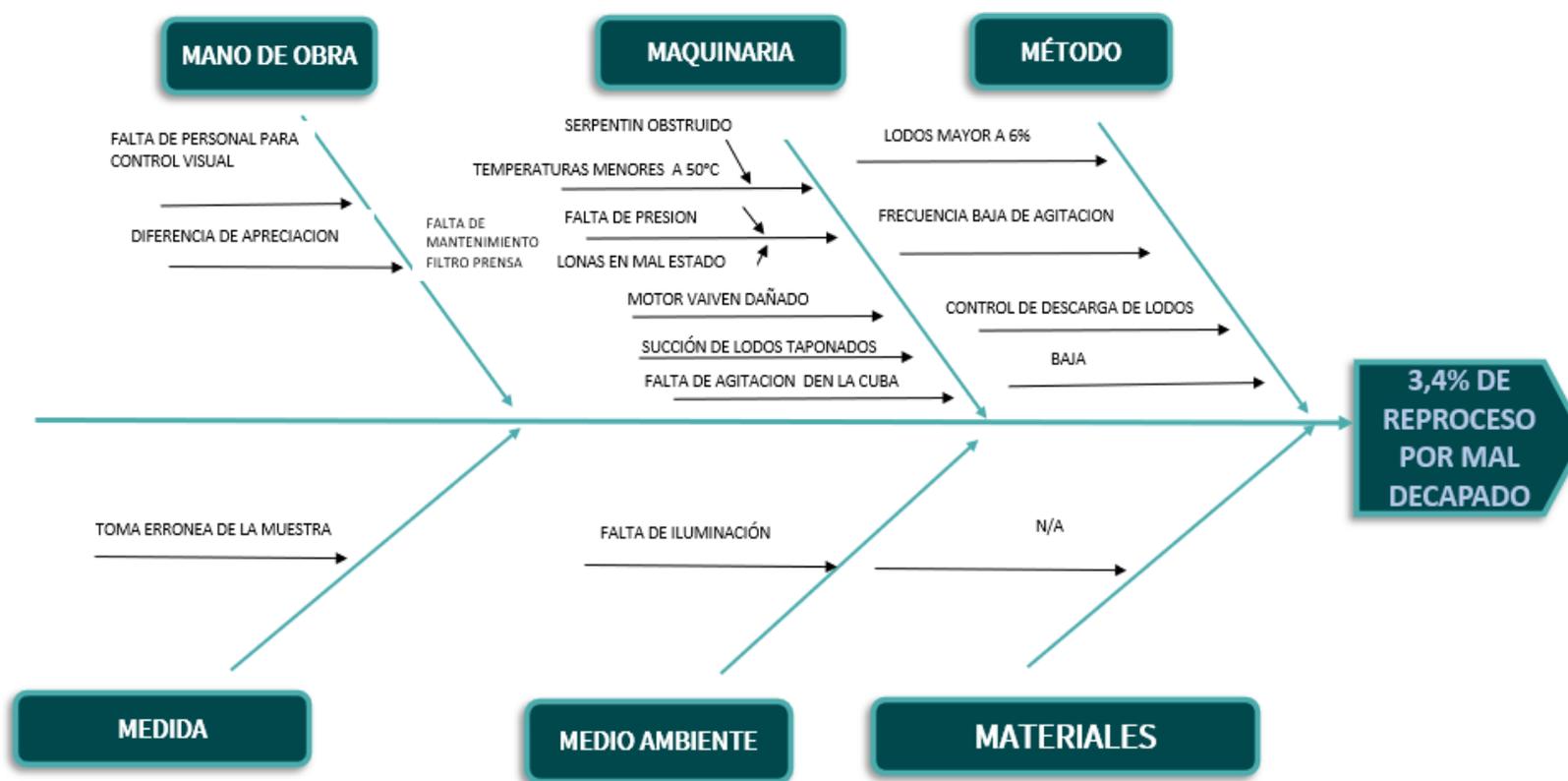


FIGURA 4.12 DIAGRAMA ISHIKAWA PARA EL DEFECTO DE MAL DECAPADO

(Fuente: Departamento de producción)

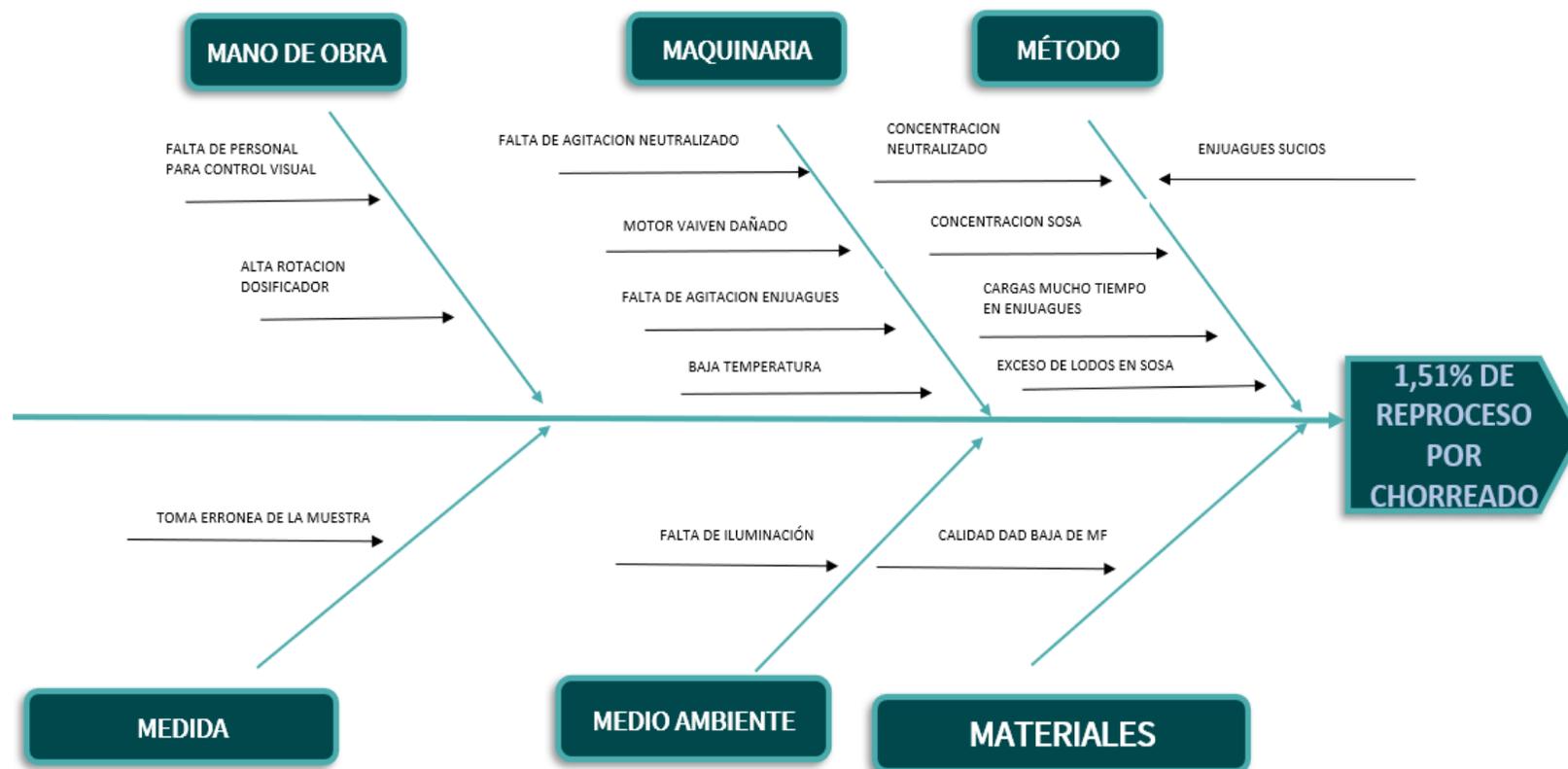


FIGURA 4.13 DIAGRAMA ISHIKAWA PARA EL DEFECTO DE CHORREADO

(Fuente: Departamento de producción)

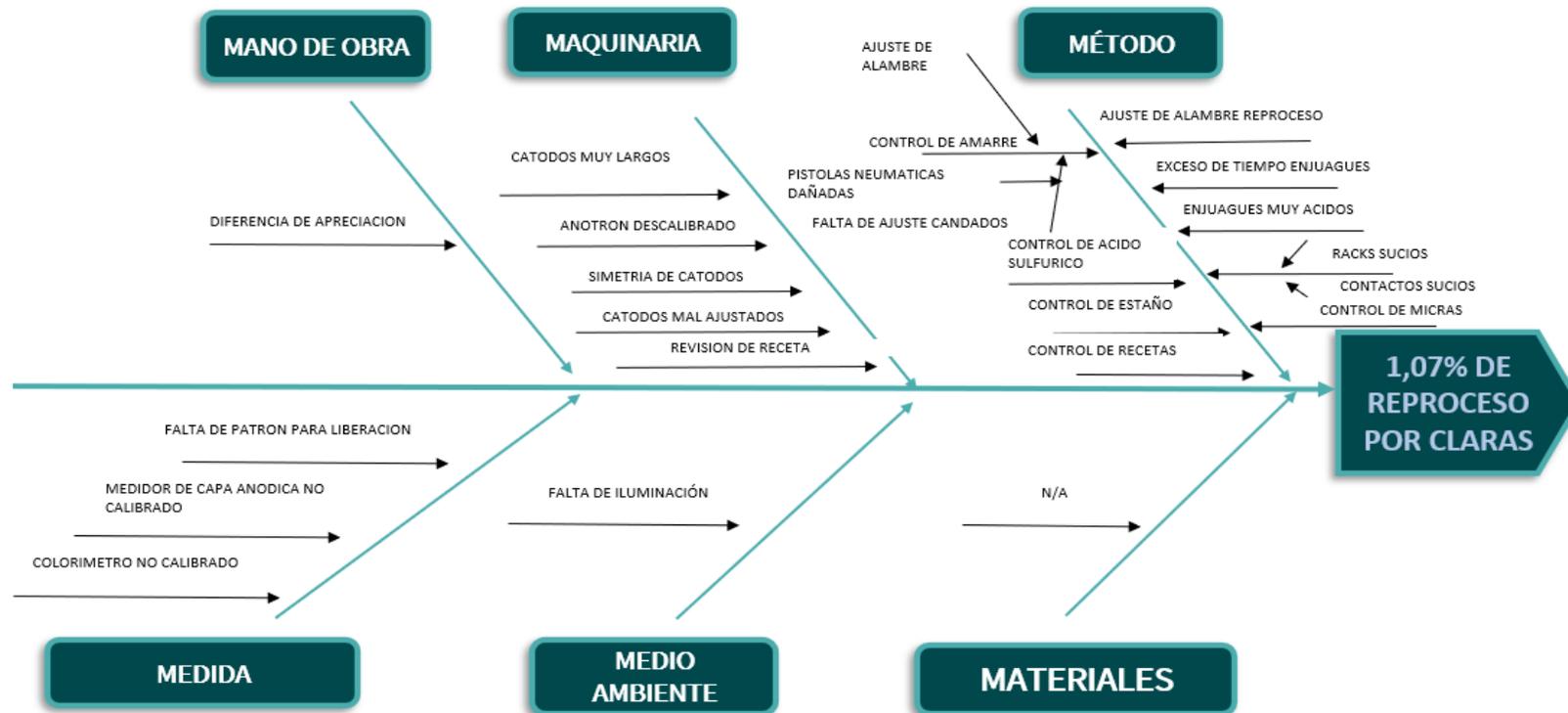


FIGURA 4.14 DIAGRAMA ISHIKAWA PARA EL DEFECTO DE CLARAS

(Fuente: Departamento de producción)

Una vez realizado los diagramas Ishikawa para cada uno de los tipos de defectos que afectan al área de anodizado, se procede a realizar un plan de verificación de causas con la ayuda de la matriz AMEF.

El AMEF es un procedimiento que se utiliza para evaluar los elementos de alto riesgo y las actividades en curso para proporcionar acciones correctivas, también sirve para evidenciar puntos de inspección de calidad, restricciones operativas, acciones de mantenimiento preventivo, tiempo de vida útil de los equipos y cualquier otro tipo de información pertinente.

Existen muchas ventajas al implementar la matriz AMEF, pero las más importantes sin duda son:

- Aumentar la efectividad de los procesos
- Mejorar la satisfacción del cliente al evitar que reciba productos o servicios defectuosos.
- Reducir los costos de mantenimiento y los asociados a los errores.
- Socializar la información.

Las acciones recomendadas que resultan de la matriz deberán ser evaluadas en una escala del 1 al 10, siendo 1 un modo de fallo insignificante y 10 un efecto catastrófico, finalmente se calcula el número prioritario de riesgo o NPR, que es el producto de los 3 factores a tomar en cuenta en la evaluación, los cuales son: severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Los NPR sirven para establecer prioridades, por ende, aquellos factores que reciban un valor más grande recibirán más atención que los NPR más pequeños, existen muchas interpretaciones acerca del valor de NPR, pero Boeing recomienda tomar acción si el NPR es mayor a 120. (Pyzdek & Keller, 2010)

A continuación, se muestra la tabla de criterios de evaluación a tomar en cuenta para la elaboración de la matriz.

Tabla 19
DIRECTRICES DE CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD, PROBABILIDAD Y
DETECTABILIDAD

CRITERIOS DE VALORACIÓN			
Valor	Severidad (Sev)	Ocurrencia (Ocu)	Detectabilidad (Det)
Valor	¿Qué tan significativa es este modo de falla para el cliente?	¿Qué posibilidades hay de que ocurra la causa de esta falla?	¿Qué tan probable es que el sistema existente detecte la causa, si ocurre? Nota: p es la probabilidad estimada de que no se detecte una falla.
1	Menor. El cliente no notará el efecto o lo considerará insignificante.	No es probable	Casi seguro de detectar antes de llegar al cliente. ($p \approx 0$)

2	La cliente notará el efecto	Baja tasa de fallas documentada	Probabilidad extremadamente baja de llegar al cliente sin ser detectado. ($0 < p \leq 0,01$)
3	El cliente se irritará por la reducción del rendimiento.	Baja tasa de fallas indocumentadas.	Baja probabilidad de llegar al cliente sin ser detectado. ($0,01 < p \leq 0,05$)
4	Marginal. Insatisfacción del cliente debido a un rendimiento reducido.	Las fallas ocurren de vez en cuando.	Es probable que se detecte antes de llegar al cliente. ($0,05 < p \leq 0,20$)
5	Se reduce la productividad del cliente.	Tasa de falla moderada documentada.	Puede ser detectado antes de llegar al cliente ($0,20 < p \leq 0,50$)
6	El cliente se quejará. Reparación o devolución probable. Aumento de los costes internos (chatarra, reproceso, etc.).	Tasa de falla moderada indocumentada.	Es poco probable que se detecte antes de llegar al cliente. ($0,50 < p \leq 0,70$)
7	Crítico. Fidelización reducida del cliente. Operaciones internas afectadas negativamente.	Alto índice de fallas documentado.	Es muy poco probable que se detecte antes de llegar al cliente. ($0,70 < p \leq 0,90$)
8	Pérdida total de la buena voluntad del cliente. Operaciones internas interrumpidas.	Alto índice de fallas indocumentado.	Pocas posibilidades de detección. ($0,90 < p \leq 0,95$)
9	La seguridad del cliente o del empleado está comprometida. Regulador y cumplimiento cuestionable.	Fallos comunes.	Pocas posibilidades de detección. ($0,95 < p \leq 0,99$)
10	Catastrófico. Violación de la ley o reglamento.	Casi siempre ocurren fallas.	Casi seguro que no se detectará la falla. ($p \approx 1$)

(Pyzdek & Keller, 2010)

Una vez definido los criterios de evaluación se procedió a realizar la matriz AMEF, la cual se la puede encontrar por completo en el anexo C, a pesar de las recomendaciones realizadas por (Pyzdek & Keller, 2010) de tomar en consideración las causas raíces a partir de un NPR mayor a 120, el presente proyecto de titulación tomara en consideración las causas que superen un NPR de 300 con el objetivo de segregarse las causas raíces y enfocar los esfuerzos en las causas raíces más importantes.

Tabla 20
RESUMEN DE MATRIZ AMEF DE REPROCESOS

Actividad	modos de fallo	Efecto	Sev	Causa	Ocu	Controles	Det	RPN
Matizado de perfiles	exceso de lodos	Perfiles con zonas sin matizado y brillosos	8	No se realizan limpiezas programadas de la cuba	7	No existe control para este proceso	7	392
				Filtro prensa en malas condiciones	7	Revisión del estado de las lonas filtrantes	6	336
				Baja frecuencia de limpieza del filtro prensa	7	Check list de limpieza de filtro	6	336
				Mal diseño en la cuba del Ae	9	No existe control para este proceso	8	576
			6	Falta de movimiento de la carga durante el decapado ácido	9	Check list de mantenimiento	8	432
Limpieza del perfil	Excesiva rotación en personal de dosificación	Falta de limpieza del filtro prensa	6	No existe una persona destinada a esta tarea y la limpieza es inadecuada.	8	No existe control para este proceso	7	336
	Exceso de aluminio disuelto sosa	Perfiles de aluminio con manchas y chorreados	8	Exceso de lodos en la solución de sosa caústica	7	Análisis de laboratorio	7	392
				Falta de un medio filtrante	8	No existe control para este proceso	8	512
				Falta de limpieza de la tina	8	No existe control para este proceso	8	512
Falta de movimiento de la carga durante el decapado básico				7	Check list de mantenimiento	6	336	
Delta de color	Espesor de capa anódica no adecuada	Variación de espesor de capa anódica en la misma carga	9	Falta de barraje centrales naturales	9	No existe control para este proceso	8	648
				Barrajes laterales muy largos naturales	9	No existe control para este proceso	8	648

Se realizó un plan de verificación de causas, en la cual se analizará las variables que estén fuera de especificación y por ende estén generando el reproceso por cada tipo de defecto.

Tabla 21
PLAN DE VERIFICACIÓN DE CAUSAS DEL REPROCESO

Plan de verificación de causas de reproceso			
Problema	Causa potencial	Impacto	Como verificar
Mal decapado	Exceso de porcentaje de lodos en la cuba del Ae	El exceso de lodos genera el defecto de mal decapado debido a que el lodo se ubica en la superficie del perfil y evita que el producto químico reaccione	Capacidad de proceso
Chorreado	Exceso de aluminio disuelto en la cuba de sosa caustica	El exceso de aluminio disuelto genera el reproceso por chorreado debido a que el lodo se adhiere a la superficie del perfil generando manchas y chorreados	Capacidad de proceso
Claros	Variación en el espesor de capa anódica	La variación de espesor de capa anódica genera el defecto por claros, esta variación genera una diferencia de tono de color durante el electro coloración	Diseño experimental
Rotación de personal de dosificación	No existe una persona destinada a esta tarea y la limpieza es inadecuada.	La limpieza la realiza personal que está disponible en ese instante, no tiene capacitación previa , por ende la limpieza es inadecuada	Gemba walking
Inspección de los perfiles	Iluminación insuficiente	No se puede observar correctamente el estado de las cargas	Gemba walking

(Fuente: Departamento de producción)

Definidas las variables que están generando el reproceso en el área de anodizado, se procede a analizar el desempeño de las mismas para determinar si cumplen con las especificaciones establecidas por el proveedor o por la norma dependiendo la variable, en caso de que no cumplan los mismos, se corrobora que son estas variables las cuales están generando el reproceso por cada tipo de defecto.

La primera variable es el porcentaje de lodos presentes en la solución química, el proveedor recomienda tener un máximo de 6% de lodos en la tina, ya que, si existe un mayor porcentaje los sólidos en dispersión no permiten una correcta reacción del químico, lo que provoca que los perfiles no sean matizados correctamente.

A continuación, se muestran los valores obtenidos durante un periodo de recolección de datos de 20 días.

TABLA 22
RECOLECCIÓN DE DATOS DE PORCENTAJE DE LODOS DEL AE

DIA	Muestra1	Muestra2	Muestra3
1	8	9	6
2	9	6	6
3	8	9	11
4	7	4	4
5	6	6	7
6	7	9	11
7	7	6	6
8	8	10	11
9	11	6	4
10	6	6	7
11	8	9	8
12	6	10	9
13	5	4	6
14	6	6	8
15	8	8	6
16	4	6	6
17	9	10	5
18	7	7	8
19	9	11	6
20	4	6	7

(Fuente: Departamento de producción)

Las muestras registradas fueron recolectadas una vez puesto en marcha el procedimiento para recolección de muestras, mismo que fue realizado en el capítulo anterior, por ende, se confía en la veracidad de los datos.

Haciendo una revisión rápida de los datos se observa una variación bastante grande la cual se verá evidenciada más adelante al realizar el contraste de los datos con la capacidad del proceso, al realizar el análisis de normalidad se obtiene un valor de $p < 0,005$ motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula que establece que los datos siguen una distribución normal.

Se necesita encontrar la distribución que más se ajusta al modelo, para la cual se realiza el análisis de distribución individual obteniendo lo siguiente:

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P	LRT P
Normal	1,468	<0,005	
Lognormal	1,421	<0,005	
Lognormal de 3 parámetros	1,364	*	0,389
Exponencial	15,079	<0,003	
Exponencial de 2 parámetros	4,984	<0,010	0,000

Weibull	1,500	<0,010	
Weibull de 3 parámetros	1,411	<0,005	0,046
Valor extremo más pequeño	2,253	<0,010	
Valor extremo por máximos	1,475	<0,010	
Gamma	1,362	<0,005	
Gamma de 3 parámetros	1,664	*	1,000
Logística	1,492	<0,005	
Loglogística	1,425	<0,005	
Loglogística de 3 parámetros	1,401	*	0,705

Se puede observar que ninguna distribución se ajusta perfectamente a la naturaleza de los datos, debido a que ninguna distribución tiene un valor $p \geq 0,05$, en este caso la distribución será definida por el estadístico Anderson Darling la cual establece que la distribución se ajusta mejor al modelo cuando el valor es lo más cercano a 0, para el presente caso se escoge la distribución Gamma porque tiene el valor AD más bajo con 1,362.

Una vez establecida el tipo de distribución se analiza el Capability Sixpack para analizar el desempeño de la variable.

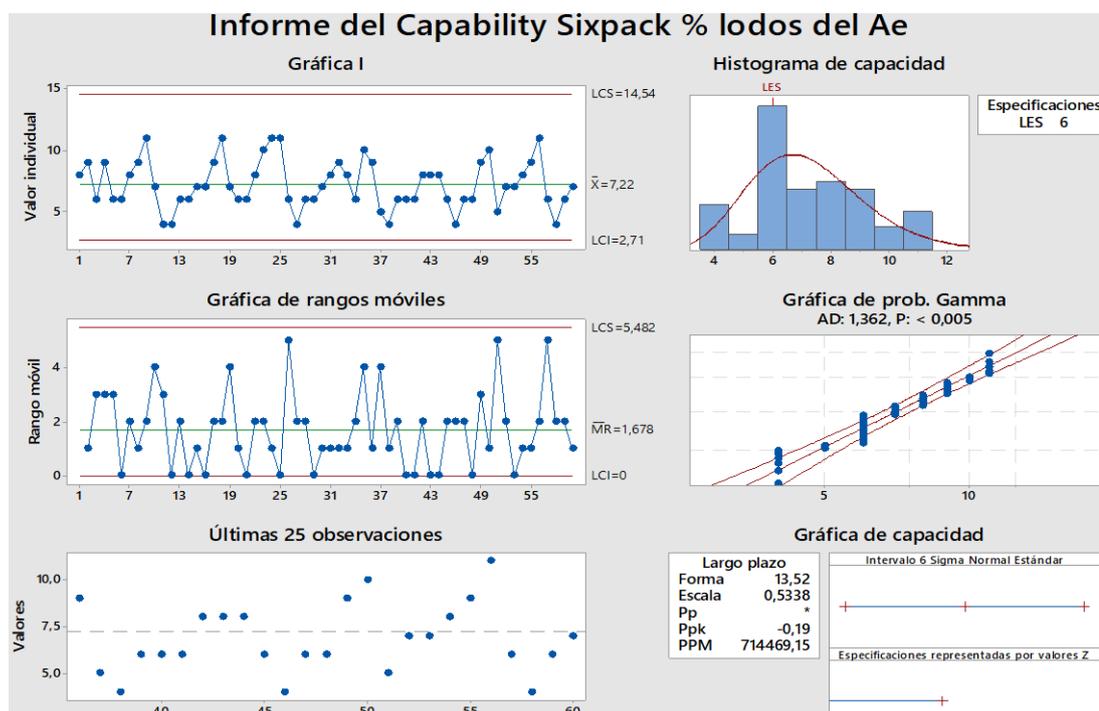


FIGURA 4.16 ANÁLISIS DE CAPABILITY SIXPACK PORCENTAJE DE LODOS DEL AE

(Fuente: Control de producción)

Al realizar el análisis de la capacidad del proceso respecto al porcentaje de lodo presentes en la tina, comprueba que esta variable es la que está generando el reproceso por mal decapado que corresponde al 3,4% de reproceso de la producción bruta, esto debido a que la variable se encuentra fuera de especificación en la mayoría de sus datos, el proveedor establece un máximo de lodo del 6% y la media de las muestras recolectadas es 7,22% de lodos.

Esta variable necesita ser intervenida de manera urgente, debido a que existe una altísima probabilidad que el material siga presentando defectos de mal decapado debido al alto porcentaje de lodos, esto se ve reflejado en el PPM igual a 714469,15, analizado de una manera más simple se puede asegurar que 7 de cada 10 cargas presentarán defectos de mal decapado por exceso de lodos.

A pesar que la carta de control \bar{x} nos indica que el proceso es estable, al realizar el análisis de capacidad se obtiene un Ppk negativo de -0,19, lo cual indica que los perfiles de aluminio procesados en estas condiciones tendrán defectos debido a que se está produciendo fuera de especificación, esto también se ve evidenciado en el histograma de capacidad, en donde se puede observar que la mayoría de datos se encuentran por encima del límite de especificación superior establecido.

Establecida y corroborada la variable que está generando el defecto de mal decapado se procede a realizar el mismo análisis para el siguiente defecto de chorreado.

Del análisis de la matriz AMEF se pudo evidenciar que la variable que genera el reproceso por chorreado es la variable aluminio disuelto, se realizó la recolección de datos conjuntamente con el personal de laboratorio para el respectivo análisis de capacidad.

A continuación, se muestran los datos obtenidos:

TABLA 23
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ALUMINIO DISUELTO

Día	Muestra 1 (gr/lit)	Muestra 2 (gr/lit)
1	34,7	34,97
2	32,03	32,3
3	35,5	35,77
4	36,04	36,3
5	38,71	38,44
6	38,97	39,24
7	38,44	38,71
8	39,77	39,51
9	41,64	41,91
10	41,91	41,64
11	30,2	32,2
12	32,3	33
13	35	36,3

14	42,71	42,98
15	44,05	44,31
16	45,38	45,65
17	45,11	45,38
18	45,91	46,18
19	50,45	50,72
20	48,85	49,12

(Fuente: Laboratorio químico)

La frecuencia de toma de análisis fue de 2 veces al día debido a la restricción del costo del reactivo para realizar el análisis químico.

Una vez obtenido los datos se procede al análisis del Capability Sixpack para analizar el desempeño de esta variable para la cual se toma como target 32,5 gr/lt siendo 30 y 35 su límite de especificación inferior y superior respectivamente.

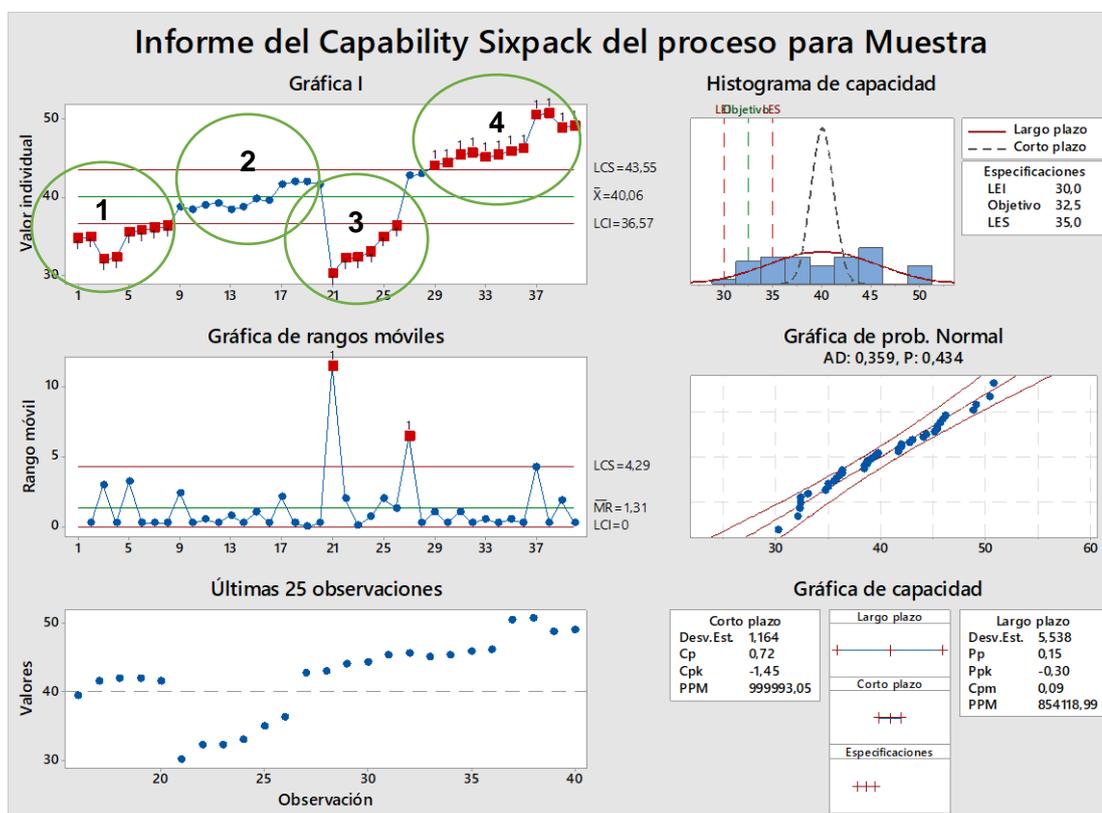


FIGURA 4.17 ANÁLISIS CAPABILITY SIXPACK DE ALUMINIO DISUELTO

(Fuente: Control de producción)

Al analizar la gráfica del Capability Sixpack se puede observar que el proceso está totalmente fuera de control, corroborando que esta variable es la causante del reproceso por chorreado, misma que corresponde al 1,51% de reproceso del total de la producción bruta.

En el histograma de capacidad se visualiza que la mayoría de los datos se encuentran fuera del rango de especificación y que son muy pocos los datos que cumplen con la concentración establecida por el proveedor y lo que el proceso demanda para producir con buena calidad.

Adicional en la gráfica de rangos se observa 2 puntos por encima del límite de control superior, lo que certifica la falta de estabilidad de esta variable.

Al analizar el gráfico de control x-barras se evidenció que se procesó perfiles durante mucho tiempo con la variable fuera de especificación, sin tomar las acciones correctivas del caso, se puede evidenciar claramente las etapas por las que pasó la tina de sosa caústica en el periodo de estudio y toma de muestras.

La etapa número 1 la cual corresponde al inicio de mes donde se realizó una limpieza a la cuba de sosa para minimizar la presencia de aluminio disuelto en la misma presenta valores por debajo del límite inferior de control, en la segunda etapa se visualiza que la concentración ha subido paulatinamente debido al comportamiento propio del proceso hasta ubicarse dentro de los límites de especificación, por lo que se realiza una purga de solución de sosa caústica para evitar que la variable sobrepase el límite de control superior, esta acción correctiva se ve evidenciada en la etapa 3 donde se observa una brusca disminución del aluminio disuelto, por último en la etapa número 4 el aluminio disuelto ha subido hasta situarse por encima del límite superior permaneciendo fuera de especificación por más tiempo de lo debido.

Esta variable no cumple con los supuestos de estabilidad y capacidad del proceso, al analizar los resultados del Capability Sixpack en la cual se obtiene un Ppk de -0,30 este valor negativo indica que el proceso no es capaz de producir con los requerimientos establecidos, el PPM tiene un valor muy elevado siendo de 999993,5.

Se requiere analizar las causas raíces por la cual esta variable se encuentra fuera de especificación.

Del plan de verificación de causas se analiza el desempeño del espesor de capa anódica la cual genera el reproceso por claras.

De la calibración realizada en el capítulo anterior se pudo evidenciar la tendencia del espesor de capa anódica, cuando el perfil de aluminio este en la parte inferior de la carga los perfiles de aluminio tendrán un mayor espesor de capa anódica, para corroborar dicha información se realizó un análisis de interacción de variables para determinar cuan acertada es la hipótesis realizada.

En este análisis intervendrán las diferentes variables presentes en el proceso de anodizado las cuales son:

- Temperatura
- Natural
- Posición del perfil

- Lado del perfil
- Concentración

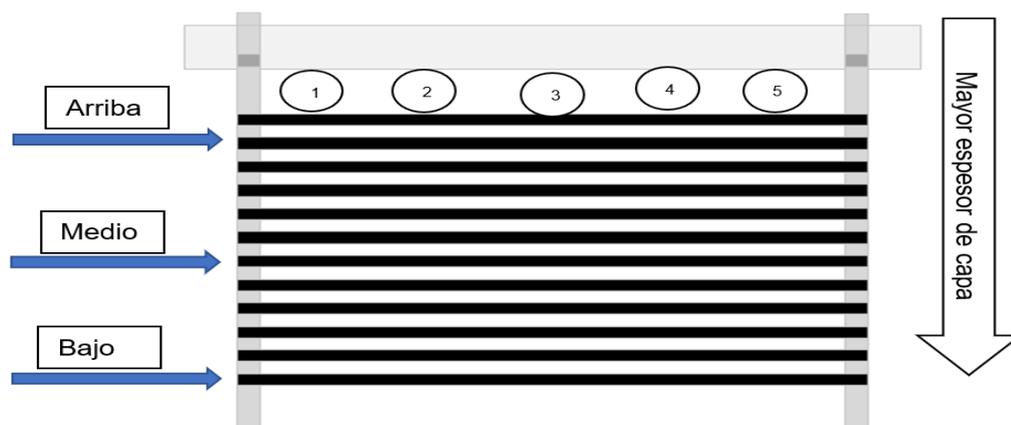


FIGURA 4.18 TENDENCIA DE ESPESOR DE CAPA ANÓDICA

(Fuente: Elaboración propia)

Los perfiles de aluminio objetos de estudio están ubicados a diferente altura en la carga, los mismos que están ubicados en la parte superior, media e inferior como se muestra en la figura 4.18, esta selección se hizo de los 2 lados de carga teniendo un total de 6 perfiles a analizar en una misma carga, a cada uno de estos perfiles se le realizó 5 lecturas de espesor de capa anódica.

La tabla con los datos de la interacción de variables se lo puede encontrar en el anexo D.

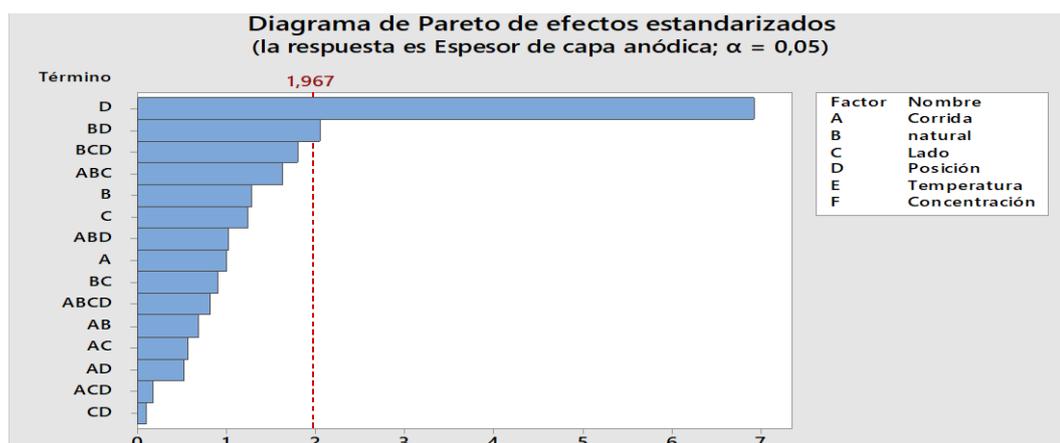


FIGURA 4.19 INTERACCIÓN DE VARIABLES ESPESOR DE CAPA ANÓDICA

(Fuente: Departamento de producción)

Una vez realizado el análisis de interacción de las variables con un nivel de confianza del 95%, se puede visualizar en el gráfico de Pareto que la variable que influye directamente en el espesor de capa anódica es la posición de perfil, es decir, se comprueba la hipótesis planteada anteriormente la cual establecía que mientras más bajo este ubicado el perfil de aluminio en la carga su espesor de capa anódica será mayor, a continuación se muestra la gráfica de efectos principales en donde se ratifica lo planteado anteriormente, al existir una variación de espesor de capa anódica existirá también una variación en el tono de color.

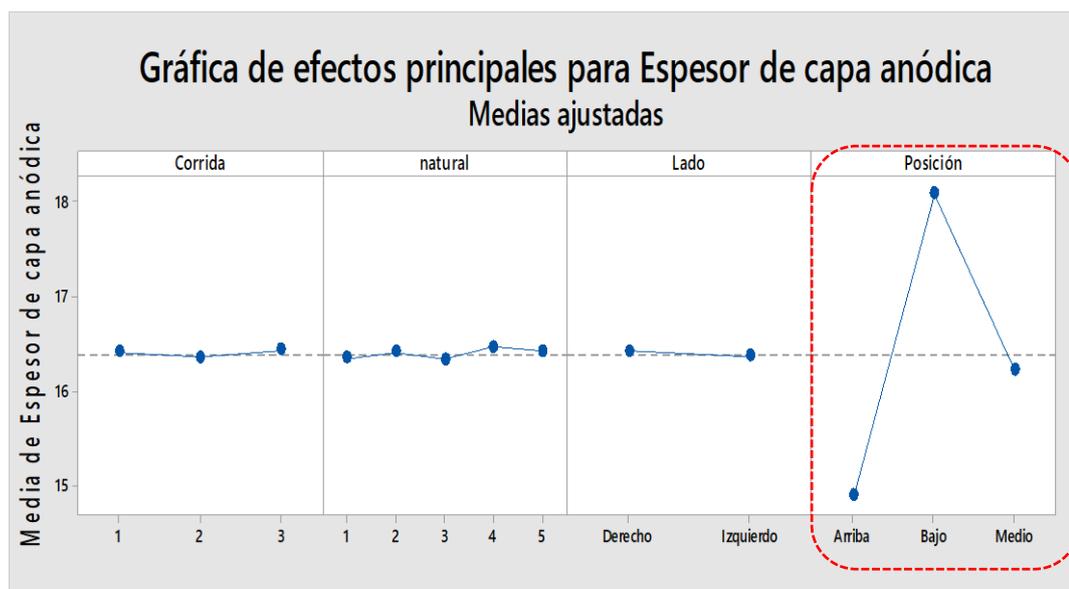


FIGURA 4.20 GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES

(Fuente: Departamento de producción)

Adicional a la posición del perfil se puede visualizar que los naturales tienen una pequeña influencia en el espesor de capa anódica debido a su diferencia de medias, a pesar de ser una pequeña variación al tener interacción con la posición del perfil de aluminio esta diferencia se hace considerable, esto se lo puede comprobar en el Pareto de efectos, debido a que esta interacción es el otro factor que sobrepasa el nivel de significancia, al tener un valor de p menor a 0,5, lo convierte en una interacción a ser considerado en la etapa de mejora.

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,434166	92,15%	90,21%	87,73%

Para determinar que tan bien se ajustan los datos al modelo, es importante analizar los estadísticos de bondad del mismo, el análisis se enfocará en el coeficiente de determinación o R-cuadrado, el cual determina la confiabilidad del modelo para replicar resultados, en la gráfica se puede visualizar que el modelo tiene un R-

cuadrado de 92,15% mientras mayor sea el valor de R-cuadrado el modelo se ajustará de mejor manera a los datos, el valor de R-cuadrado siempre está contenido entre 0% y 100%.

Una vez realizado el análisis de interacción en los naturales, se procede a realizar el mismo análisis para el subproceso de electro coloración, donde se tomará en cuenta las siguientes variables:

- Temperatura electro color
- Concentración electro color
- Posición del perfil
- Lado del perfil

Una vez definida las variables se realizó el análisis de interacción para definir cuál es la o las variables que están generando una variación en el tono de color, el contenido de la tabla con datos se lo puede encontrar en el anexo C.

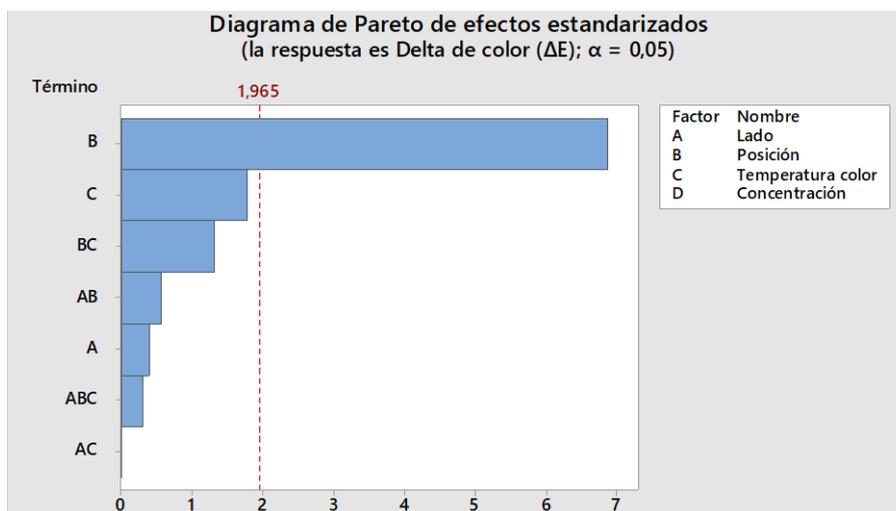


FIGURA 4.21 PARETO DE EFECTOS EN EL DELTA DE COLOR

(Fuente: control de la producción)

La variable que afecta directamente en el delta de color (ΔE) es la posición del perfil de aluminio, es decir que el espesor de capa anódica afecta directamente en el tono de color, si se quiere disminuir el porcentaje de reproceso por claras o diferencia de tonalidad, se debe disminuir la variabilidad del espesor de capa anódica generada en la tina de los naturales.

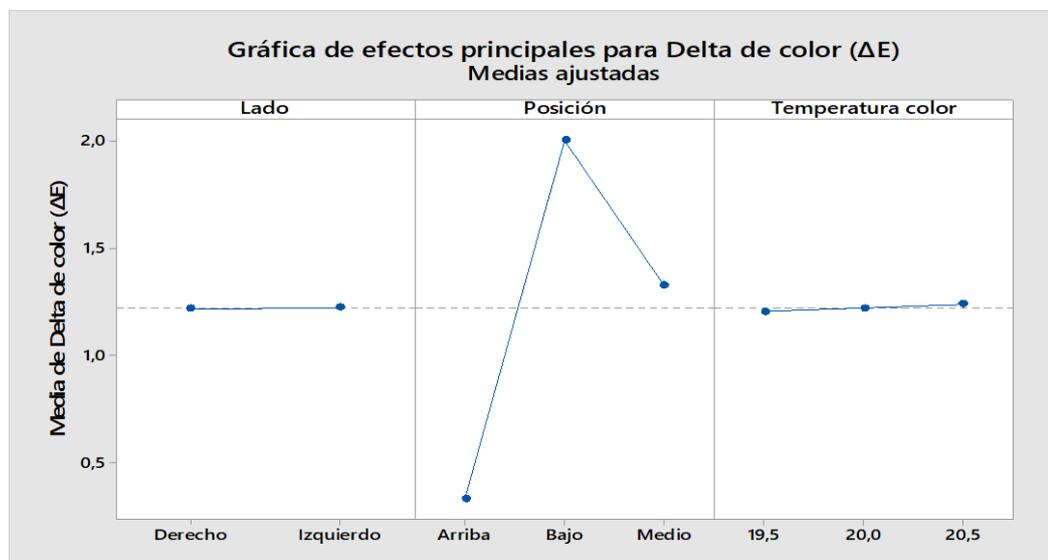


FIGURA 4.22 EFECTOS PRINCIPALES DE DELTA DE COLOR

(Fuente: Departamento de producción)

Con un porcentaje de confiabilidad del 95% se realizó la interacción de las variables a 3 temperaturas diferentes, se puede observar en el gráfico que la interacción con menor temperatura 19,5 °C, es la que generó menor variación en el tono de color, también se visualiza que a mayor temperatura el delta de color aumenta, este aspecto es muy importante el cual se debe considerar en la etapa de mejora.

Mathias-Rettig en la investigación de “El color en los alimentos un criterio de calidad medible” establece que un delta de color igual a 2,3 o mayor representa una diferencia considerable en el tono de color, como organización se estableció un máximo de 2 en el delta de color para la liberación de perfiles de aluminio, con esta consideración y tomando los datos de la tabla del anexo C, se procede a ser el análisis de capacidad con respecto al delta de color. (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)

En la figura 4.23 se observa que los datos están distribuidos en 3 grandes grupos, el grupo que más llama la atención es el de la derecha debido a que se encuentra cerca del límite de especificación y muchos de los datos se encuentran fuera de ellos, debido a esta variabilidad se tiene un $Ppk = 0,35$, lo cual nos indica que el proceso no es capaz de producir con las especificaciones requeridas, además se tiene un PPM de 147453, a pesar de no ser un valor muy elevado también puede ser considerado como muchas oportunidades de mejora.

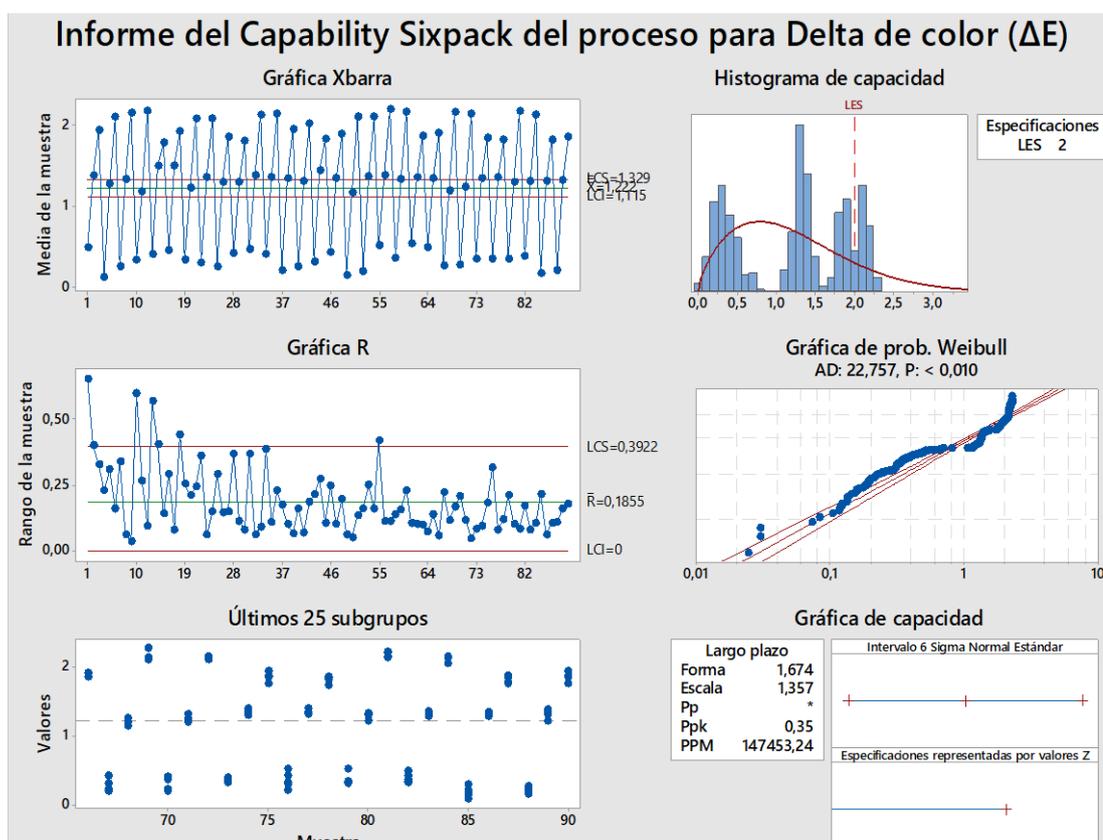


FIGURA 4.23 ANÁLISIS CAPABILITY SIXPACK PARA DELTA DE COLOR

(Fuente: Departamento de producción)

La variabilidad del proceso se visualiza de mejor manera en la gráfica de control X-barra, en donde se visualiza que el proceso no es estable debido a que existen muchos puntos fuera de los límites de control establecidos.

En el histograma de capacidad se puede evidenciar claramente que existe 3 subgrupos importantes en el delta de color, esta variación es generada por el espesor de capa anódica, por ende, se ratifica que la variación de espesor de capa anódica es la principal causa del defecto de claras.

4.3.1. Verificación de causas raíces

Una vez analizado el desempeño de cada variable y corroborando que estas se encuentran fuera de especificación generando el reproceso en el área, conjuntamente con el equipo de mejora se plantearon soluciones a las causas raíces establecidas con anterioridad en la matriz AMEF.

TABLA 24
LISTADO DE CAUSAS RAÍCES

Listado de causas raíces		
Problema	Causas raíces	Solución
Mal decapado	Falta de limpieza programadas de la cuba del AE	Implementar un cronograma de limpieza programada de cubas
	Filtro prensa en malas condiciones	Cambiar las lonas de la placa paulatinamente
	Frecuencia no definida de limpieza del filtro prensa	Limpiar a diario el filtro prensa
	Mal diseño en la cuba del Ae	Cambiar la cuba del AE con un diseño más practico
	Falta de movimiento de la carga durante el decapado ácido	Cambiar el motor y reductor del vaivén
Chorreado	Exceso de lodos en la solución de sosa cáustica	Purgas constantes de la solución de sosa cáustica
	Falta de un medio filtrante	Implementar un sistema de filtración de lodos
	Falta de limpieza de la tina de sosa cáustica	Implementar un plan de limpieza quincenal
	Falta de movimiento de la carga durante el decapado básico	Implementar un sistema de vaivén en la cuba.
Claros	Falta de barraje centrales naturales	Implementar barraje central en las cubas de los naturales
	Barrajes laterales muy largos naturales	Cambiar los barrajes laterales por unos más cortos
Iluminación insuficiente en la línea de proceso	No se puede visualizar correctamente el estado de los perfiles	Cambiar las luminarias de la línea de proceso productivo
Falta de personal para dosificar	No existe una persona destinada a esta tarea y la limpieza es inadecuada.	Capacitar personal permanente para labores de dosificación

Se analizaron las propuestas de mejora realizadas por parte de todos los integrantes del equipo y se procedió a realizar la matriz de esfuerzo benefico, en la cual se analizaron las soluciones más factibles de implementar en la etapa de mejora.

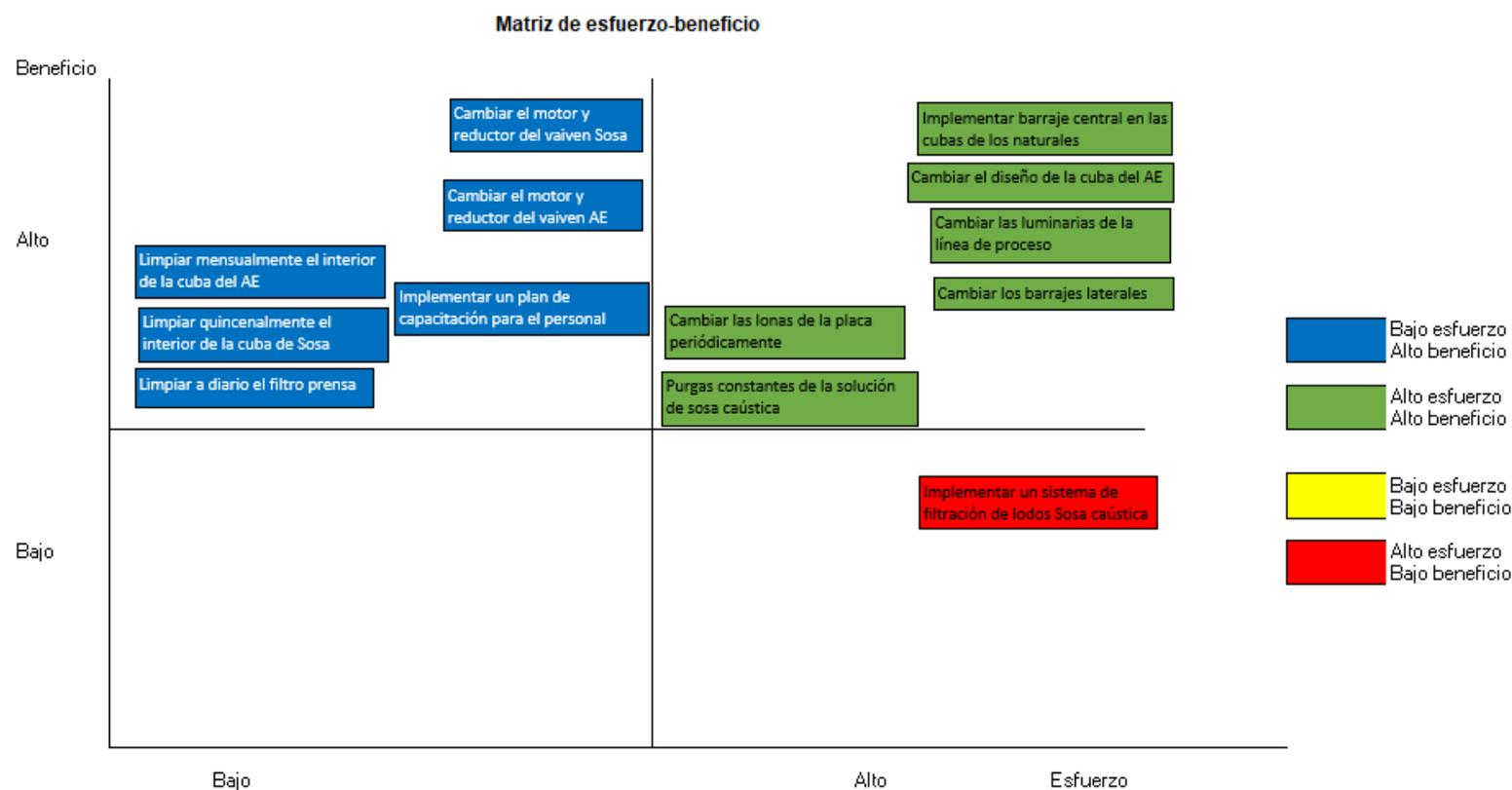


FIGURA 4.24 MATRIZ DE ESFUERZO-BENEFICIO DE SOLUCIONES

(Fuente: Departamento de producción)

En la figura 4.24 se puede observar las acciones a tomar en cuenta para la implementación de mejora del proceso, de igual manera se puede notar la diferencia en el esfuerzo que llegará a necesitar una solución para ser corregida, el objetivo de corregir la causa es eliminar o reducir la variabilidad en el proceso y alcanzar el objetivo general que es reducir el porcentaje de reproceso en el área de anodizado.

Las acciones se clasifican según el esfuerzo de implementación y el impacto que generarán en el proceso, lógicamente las soluciones de bajo esfuerzo y gran impacto o beneficio deben ser las primeras en ser tomadas en cuenta para la implementación, mientras que las soluciones de alto esfuerzo y poco beneficio deberán ser descartadas.

Sin embargo, las soluciones de gran esfuerzo que generen grandes beneficios deben ser analizadas a más profundidad, se debe analizar todos las ventajas y desventajas que generen la implementación de las mismas, para el presente estudio se decidió trabajar en 4 de las 6 soluciones propuestas, siendo descartadas la implementación del barraje central en los naturales y el cambio de diseño de la cuba del Ae, debido a la fuerte inversión que requiere, cambios en la distribución del layout del proceso, cambio de tuberías de calentamiento, cambio en las tuberías de succión y distribución entre otras.

Un hallazgo importante ocurrió durante el análisis de interacción de variables respecto al delta de color, la variación de tono disminuyó a menor temperatura, motivo por el cual se cambió la especificación de temperatura de la cuba de electro coloración de 20 °C a 19°C, todo esto con la respectiva aprobación del Champion del proceso, esta solución será añadida a las ya planteadas anteriormente.

4.4. Mejorar

Una vez terminada la etapa de análisis en la cual se han identificado las causas raíces de los defectos, es necesario desarrollar un plan de implementación concreto que abarque todas las soluciones a cada causa raíz, cabe recalcar que algunas propuestas de mejora ya fueron implementadas, otras soluciones se deben realizar constantemente y otras se las va a implementar progresivamente debido al costo que genera o simplemente por falta de stock al momento de efectuar el proyecto de mejora.

En algunos casos será necesario revisar el procedimiento y en otros se deberá realizar cambios físicos en el proceso, hay cambios que se los puede realizar en proceso debido a que existen equipos que trabajan en paralelo y no afectarían el desempeño del proceso, hay otros cambios que se deberán realizar paulatinamente los fines de semana en los mantenimientos programados, por el esfuerzo que se necesita para implementar la mejora o simplemente para precautelar la integridad de los trabajadores, debido a que es peligroso realizar los cambios con los puentes grúas en movimiento.

En esta etapa es fundamental la colaboración y el apoyo del Champion del proceso, para fines de este proyecto de mejora es el jefe departamental quien destinará los montos económicos establecidos en el presupuesto inicial para realizar los cambios necesarios.

4.4.1. Implementación de mejoras

La implementación de las soluciones a las causas raíces del problema enfocado se lo realizó paulatinamente a medida que el proceso lo amerite y lo permita.

Cambio de lonas del filtro prensa

El filtro prensa del Ae es el equipo que ayuda a filtrar los lodos generados en la cuba del Ae, el porcentaje de lodos es una variable a controlar en el subproceso de decapado ácido y como se pudo analizar en la etapa anterior esta variable no está bajo control.

El filtro prensa comprende 30 placas de retención y cada placa dispone de una lona que cumple la función de medio filtrante, debido al costo de las lonas y por la falta de stock de las mismas, se tomó la decisión de cambiar 10 lonas cada trimestre, con la finalidad de que siempre exista lonas en buen estado que ayuden a retener mayor cantidad de lodo.



FIGURA 4.26 FILTRO PRENSA DEL AE

(Fuente: Departamento de producción)

TABLA 25
CAMBIO DE LONAS DEL FILTRO PRENSA



(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la gráfica anterior, las placas antiguas se encontraban en mal estado, estaban totalmente deterioradas al punto de que ya habían perdido su capacidad de retención de lodos, eso se puede observar en la segunda fotografía donde menos del 50% de la placa retuvieron los lodos, a diferencia de las lonas nuevas que una vez realizado el cambio estaban completamente llenas de lodo.

Limpieza programada de la cuba del AE

A pesar de que la cuba tiene filtración constante, es común observar en la parte inferior de la carga perfiles con el defecto de mal decajado, esto se debe a que los lodos generados en el proceso de decajado ácido son muy densos y pesados, los mismos tienden a asentarse en la parte inferior de la cuba, razón por la cual es importante realizar limpiezas periódicas para remover en su totalidad los lodos de la parte inferior, el cronograma de limpieza está detallado en el plan de acción.

TABLA 26
LIMPIEZA PROGRAMADA DE LA CUBA DEL AE

Limpieza de la cuba del Ae	
	Lodos en la parte inferior de la cuba
	Retirar los lodos presentes en la cuba
	Revisión de la tubería de succión y tubería de agitación
	Retorno de la solución

(Fuente: Elaboración propia)

Cambio de motor y reductor del vaivén en la cuba del Ae

De lo mencionado anteriormente, es común ver los últimos perfiles de las cargas con el defecto de mal decapado debido a la acumulación de lodo en la parte inferior de la cuba, por ende, se cambió el motor y reductor del vaivén con la finalidad de añadir movimiento a la carga y evitar que los perfiles se queden atrapados en los montículos de lodos que se generan, al añadir movimiento a la carga los lodos se dispersan hacia las paredes de la cuba disminuyendo así el defecto de mal decapado, adicional, al existir movimiento en la carga ayuda a la homogenización de la solución y como consecuencia se obtiene una carga más uniforme.

TABLA 27
MONTAJE DEL VAIVÉN CUBA DEL AE



(Fuente: Elaboración propia)

Limpieza programada cuba de sosa cáustica

La cuba de sosa cáustica no dispone de un medio filtrante, por ende, se deben realizar purgas frecuentes y limpiezas periódicas para evitar la acumulación de aluminio disuelto o lodo generado por la reacción del decapado básico.

Para contrarrestar este defecto se programaron limpiezas quincenales para mitigar el reproceso por chorreados y manchas, de igual manera el cronograma de limpieza se encuentra detallado en el plan de acción.

TABLA 28
LIMPIEZA PROGRAMA DE LA CUBA DE SOSA CAÚSTICA



	<p>Retirar las barras, pinzas, perfiles que hayan quedado atrapados en la cuba</p>
	<p>Dejar reposar la solución de sosa en las cubas de enjuagues</p>
	<p>Retornar la solución, completar el nivel con agua y con hidróxido de sodio</p>

(Fuente: Elaboración propia)

Implementar un sistema de vaivén en la cuba de sosa caustica

Al igual que en la cuba del Ae, la cuba de sosa caustica tiene la necesidad de implementar movimiento durante el ataque químico a las cargas con la finalidad de evitar que los lodos se peguen en la superficie del metal generando defectos de chorreados o manchas, a diferencia de la cuba del AE, la cuba de la sosa cáustica ni siquiera tenía un vaivén instalado debido a que nunca se creó esa necesidad de mejora en el proceso productivo, por ende, se procedió a instalar un nuevo juego de motor y reductor en la tina.

Esta implementación conjuntamente con las purgas constantes y con las limpiezas quincenales de la cuba tienen como objetivo disminuir el porcentaje de reprocesos por chorreados, como pudo observar en la gráfica de Pareto es el segundo tipo de defecto en los perfiles anodizados.

TABLA 29
MONTAJE DE VAIVÉN DE LA CUBA DE SOSA CAÚSTICA

Montaje del vaivén cuba de sosa cáustica		
Antes	Montaje	Después
		

(Fuente: Elaboración propia)

Cambio de barrajes laterales en los naturales

De lo analizado en el capítulo anterior, existe una gran variabilidad en el tamaño de espesor de capa anódica en una misma carga, se comprobó estadísticamente que, mientras más bajo este ubicado el perfil de aluminio obtendrá un mayor espesor de capa anódica, esto se debe a que el barraje actual es muy largo en comparación a la longitud de la carga, por ende, todo el proceso de oxidación que se genera en la parte inferior del barraje se adhiere a los últimos perfiles de la carga dando como resultado un mayor espesor de capa anódica.

Cabe recalcar que el área de anodizado consta de 5 cubas de naturales, se realizó el cambio en su totalidad, la frecuencia de cambio se lo realizó semanalmente aprovechando los paros de producción del fin de semana con el fin de evitar cualquier tipo de incidente o accidente que puedan generar las grúas en movimiento.



FIGURA 4.27 MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN DIFERENTES PUNTOS DEL NATURAL

(Fuente: Control de producción)

Con el objetivo de aprovechar al máximo la intervención en la cuba, y eliminar la pequeña variación de temperatura en los diferentes puntos de la cuba, se procedió a realizar un sistema de agitación que además de minimizar la variabilidad de temperatura, aportará a que la solución se homogenice de mejor manera.

A continuación, se detalla los pasos que se realizó para el cambio del barraje

TABLA 30
CAMBIO DE BARRAJES DE NATURALES

Cambio de barrajes de los Naturales	
	Natural con cátodos en mal estado y muy largos en comparación con la longitud de la carga.
	Desmontaje de barraje antiguo.
	Implementación de sistema de agitación y homogenización.
	Construcción de nuevos barrajes.

	<p>Montaje de barrajes nuevos.</p>
	<p>Cambio de líneas de distribución y eductores boquilla de pulverización.</p>
	<p>Natural con nuevo sistema de agitación, cambio de tubería de retorno y barraje más corto.</p>
	<p>Retorno de la solución</p>

(Fuente: Elaboración propia)

Mantenimiento preventivo Electro color

A pesar de no ser un factor a tomar en cuenta en el análisis previo, se aprovechó la iniciativa de mejora para realizar la limpieza y mantenimiento preventivo a la cuba de electro color, con el objetivo de encaminar de mejor manera el proceso.

TABLA 31
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LA CUBA DE ELECTRO COLOR

Mantenimiento preventivo a la cuba de Electro color	
	Revisión de mordazas.
	Cambio de mordazas.
	Corrección de barrajes externos.
	Barraje con exceso de corrosión.

		<p>Pulido de barraje y cambio de pernos.</p>
		<p>Alineación del barraje central.</p>
		<p>Retorno de la solución.</p>

(Fuente: Elaboración propia)

Cambiar las luminarias de la línea de procesos.

Uno de los factores más críticos en el proceso de anodizado es la falta de iluminación, esto complica el control de las cargas en los turnos de la tarde y especialmente en el turno de velada, debido a que, no se puede evidenciar de manera correcta los defectos, en muchas ocasiones los defectos son visualizados en el subproceso de desenraque, por ende, cuando se requiere tomar acciones correctivas en el proceso, termina siendo muy tarde porque existe un inventario en proceso que lamentablemente también tendría defectos, de aquí la necesidad de tener una buena iluminación para que el criterio de evaluación de calidad de los perfiles de aluminio sea más confiable y en caso de tener que realizar algún cambio en la línea de proceso se lo realice a tiempo.

Al momento de realizar el presente proyecto de mejora, el operador de grúa solo disponía de una lámpara led, con la cual se ayudaba para tener un criterio más claro sobre la calidad de los perfiles.

La falta de iluminación es un factor que no puede ser medido estadísticamente, no se puede cuantificar la incidencia de la falta de iluminación con el porcentaje de reproceso, pero sin lugar a duda es un factor que debe ser objeto de mejora.

A continuación, se puede observar cómo se encontraba el área de anodizado al realizar el levantamiento de información:

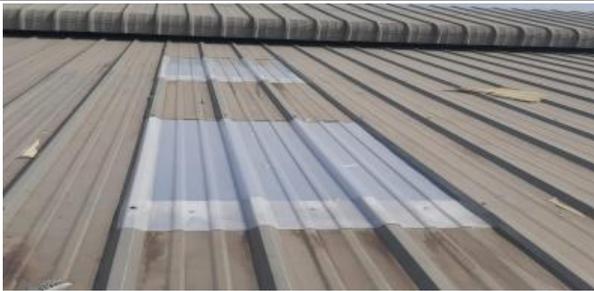
TABLA 32
ILUMINACIÓN INSUFICIENTE

Falta de iluminación	
	Luminarias dañadas.
	Revisión de una carga de perfiles con ayuda de una luz led de mano.
	Nave del área de anodizado con iluminación insuficiente.
	Techo traslucido en mal estado debido a la corrosión.

(Fuente: Elaboración propia)

Al conocer la gravedad del caso, la gerencia de planta dispuso el cambio de los techos traslucidos y la implementación de unas luminarias temporales, debido a que el cambio de las blindo barras conlleva una inversión más fuerte, la cual por el momento la empresa no está en condiciones de implementar.

**TABLA 33
MEJORA EN LA ILUMINACIÓN**

Mejora en la iluminación de la Nave del área de Anodizado	
	Cambio de techo traslucido.
	Cambio de techo traslucidos en la nave del área de Anodizado.
	Instalación provisional de luminaria led.
	Mejora de la iluminación en la etapa de preparación de los perfiles de aluminio.

(Fuente: Elaboración propia)

4.4.2. Comprobación de mejora.

Al terminar la implementación de las mejoras seleccionadas, el siguiente paso es analizar los resultados con el fin de evidenciar y cuantificar la reducción de la variabilidad en los subprocesos, siempre teniendo en cuenta la “Y” final o el objetivo final que es la disminución del porcentaje de reproceso.

Procesos estables y dentro de especificaciones aseguran una buena calidad de los perfiles de aluminio.

Mejora porcentaje de lodo del AE

Una vez realizado los cambios necesarios como limpiezas programadas, revisión de la frecuencia de limpieza del filtro prensa y la adecuación al mismo, se procede a realizar el análisis de capacidad para observar el comportamiento de la variable porcentaje de lodos.

A continuación, se muestra la tabla de recolección de datos en un periodo de 20 días, la frecuencia de recolección de datos es una vez por turno, las unidades de los datos mostrados son en porcentaje.

TABLA 34
RECOLECCIÓN DE DATOS DE PORCENTAJE DE LODOS EN LA ETAPA DE MEJORA

Día	Muestra1	Muestra2	Muestra3
1	3	4	3
2	3	4	4
3	5	3	4
4	4	3	4
5	4	5	4
6	5	3	4
7	4	3	4
8	3	4	6
9	5	4	5
10	6	4	4
11	4	4	5
12	7	5	3
13	4	5	3
14	4	4	3
15	4	5	5
16	4	3	3
17	3	4	3
18	4	3	3
19	4	4	3
20	3	4	4

(Fuente: Departamento de producción)

Se procede a realizar la comparación de la variable, tomando en cuenta el estado inicial y final del mismo teniendo como resultado lo siguiente:

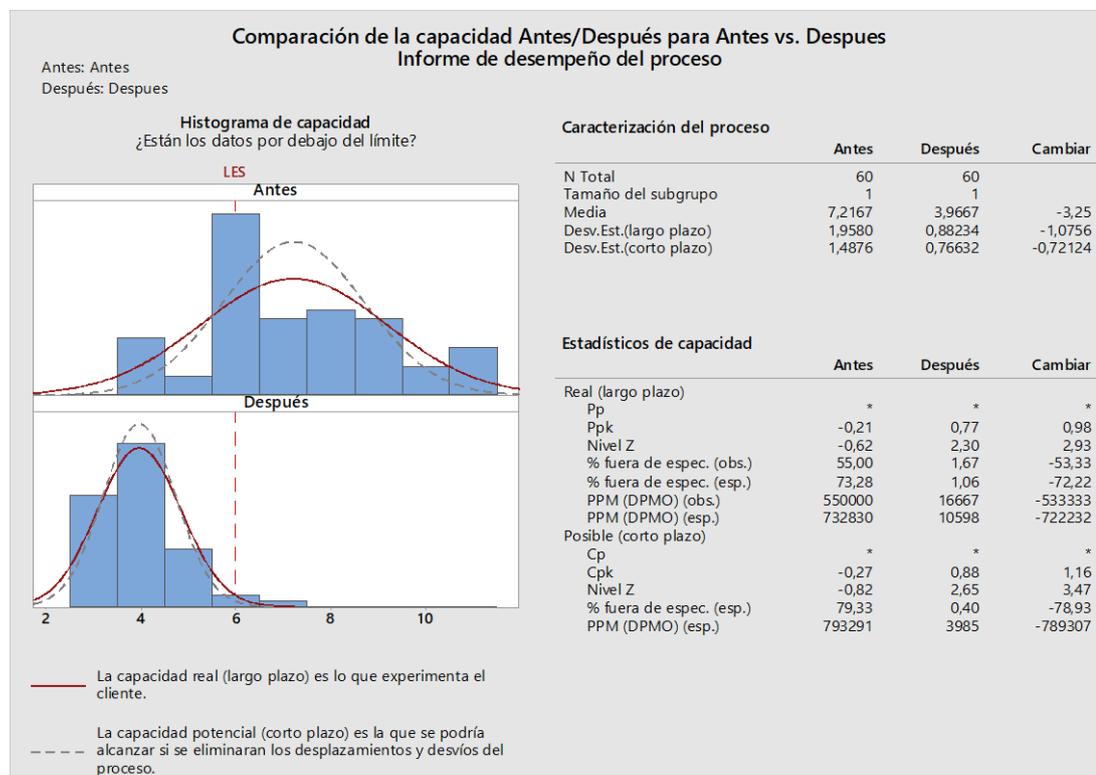


FIGURA 4.28 COMPARACIÓN CAPACIDAD DE PROCESO INICIAL VS MEJORA PARA PORCENTAJE DE LODOS DEL AE

(Fuente: Departamento de producción)

En la figura 4.28 se puede observar un cambio significativo en la capacidad del proceso inicialmente el 73,28% de las muestras estaban fuera de especificación a diferencia del estado final que solo el 1,06% se encuentra fuera de especificación, con ayuda de las mejoras planteadas e implementadas la variable de porcentaje de lodos se encuentra bajo control, hubo una disminución drástica en la media del proceso, inicialmente se tenía una media de 7,22% lo cual indica que la variable esta fuera de especificación debido a que el límite máximo es de 6 % de lodos, con todo el trabajo realizado la media final es de solo 3,97%, otro valor a tomar muy en cuenta es la desviación estándar a largo plazo, la cual se redujo drásticamente de 1,95 a 0,88.

Finalmente se analiza la capacidad de proceso a largo plazo "Ppk", en donde de igual manera existe una disminución considerable del indicador, inicialmente el proceso tenía un Ppk de -0,21 y con las mejoras planteadas el proceso tiene un Ppk final de 0,77, aunque el valor de Ppk final no denota un proceso Six sigma los defectos por millón de oportunidades tienen una reducción radical la cual va de 737.823 DPPM a solo 14.081 DPMO.

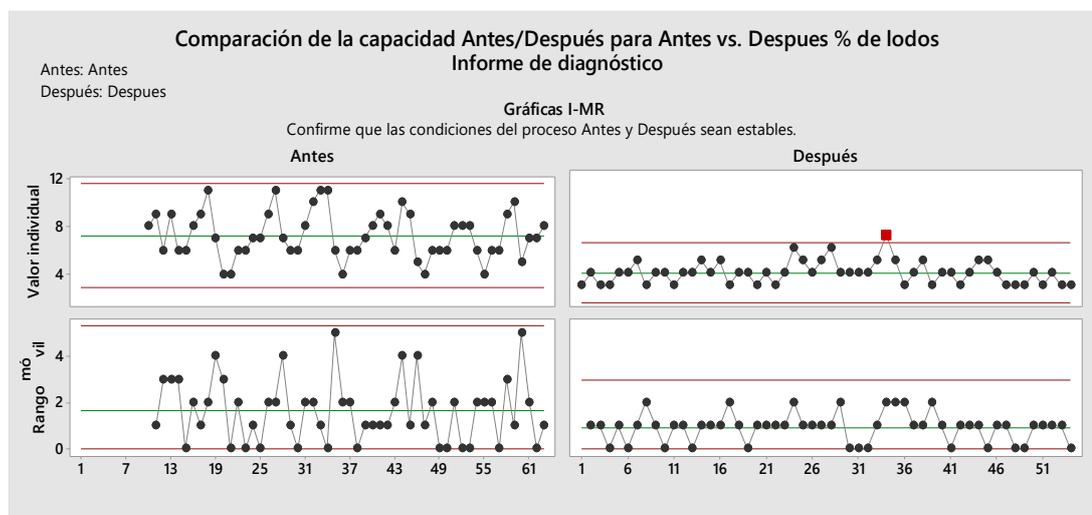


FIGURA 4.29 CARTA DE CONTROL ANTES VS DESPUÉS PARA PORCENTAJE DE LODOS EN EL AE

(Fuente: Departamento de producción)

De igual manera la mejora en el proceso se puede evidenciar al analizar las cartas de control, en la cual los límites de especificación y rangos se reducen drásticamente, existe un valor en la mejora que se encuentra fuera del límite de especificación superior, este valor puede ser producto de algún desperfecto en el filtro prensa, alguna placa dañada, no se realizó la limpieza diaria del filtro, no se realizó la limpieza de cuba mensual que establecía el plan de mejora.

Al ser un valor que genera desconfianza en el análisis se procede a realizar la prueba de valores atípicos, con el fin de eliminar o incluir el valor en el análisis de capacidad.

Prueba de valores atípicos: Después

Método

Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Prueba de Grubbs

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Después	60	3,966	0,882	3,000	7,000	3,29	0,028

Valor atípico

Variable	Fila	Valor atípico
Después	34	7

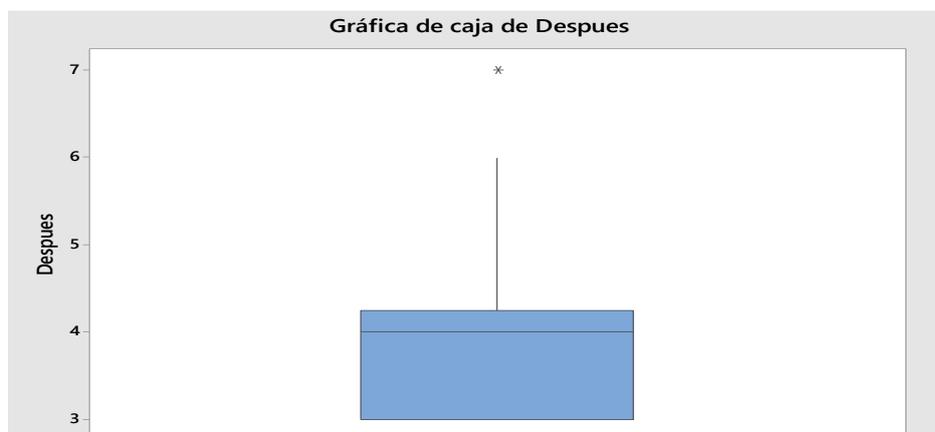


FIGURA 4.30 PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS MEJORA

(Fuente: Control de producción)

Al realizar la prueba de valores atípicos se obtuvo un valor de $p= 0,028$, al ser este valor menor al nivel de significancia de $0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna debido a que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existe un valor atípico, que para el caso de este análisis es 7, si se retira el valor atípico la capacidad del proceso debería incrementar acercándose más al objetivo de ser un proceso Six sigma, sin embargo, debido a los factores antes mencionados el valor atípico es incluido en el análisis, adicional que este valor puede ser un indicador de criticidad del proceso.

Mejora en aluminio disuelto de la sosa cáustica

A continuación, se realiza la comparación de capacidad del proceso inicial respecto al aluminio disuelto en la cuba de sosa cáustica versus la capacidad de proceso final.

**TABLA 35
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ALUMINIO DISUELTO EN LA ETAPA DE
MEJORA**

Día	Muestra 1 (gr/lt)	Muestra 2 (gr/lt)
1	30,97	31,39
2	31,98	33,56
3	32,35	32,87
4	31,5	32,61
5	31,12	31,8
6	32,19	32,74
7	32,33	33,1
8	33,3	34,12
9	30,34	31,89
10	32,76	33,19
11	34,52	32,51
12	32,8	33,1
13	31,67	32,3
14	31,6	32,9

15	30,84	32,3
16	32,7	32,3
17	32,89	33,56
18	32,11	32,56
19	32,45	33,1
20	32,73	32,87

(Fuente: Departamento de producción)

La tabla 31 muestra los datos obtenidos en un periodo de 20 días, como se explicó anteriormente debido al consumo y costo de reactivos el análisis se realiza dos veces al día.

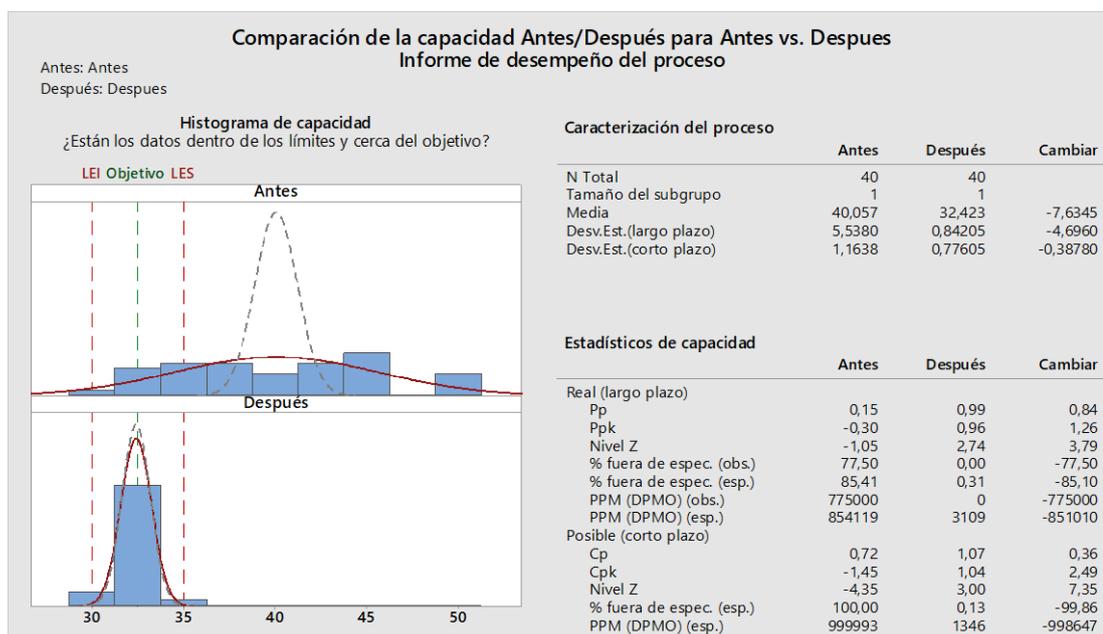


FIGURA 4.31 CAPACIDAD DE PROCESO ANTES VS DESPUÉS PARA ALUMINIO DISUELTO

(Fuente: Control de producción)

En la gráfica de capacidad se puede observar una importante mejora del proceso debido a que, la capacidad de proceso inicial es de -1,45 y la capacidad de proceso final de 1,04, analizando los datos estadísticos descriptivos se tiene una disminución en la media de 7,63 con respecto a la media inicial del análisis, dando como resultado una media final de 32,4, al igual que la desviación estándar a largo plazo tiene una disminución de 4,69, lo que corrobora una disminución importante de la variabilidad en el proceso.

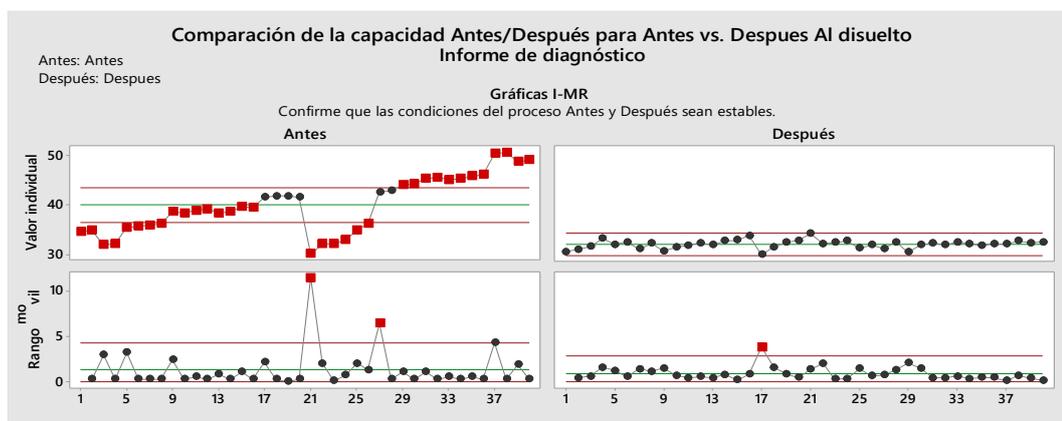


FIGURA 4.32 CARTAS DE CONTROL ANTES VS DESPUÉS PARA ALUMINIO DISUELTO

(Fuente: Control de producción)

En la carta de control se puede observar que el proceso está bajo control, todos los puntos se encuentran dentro de los límites de especificaciones, en la carta de control de rangos existe un punto fuera del límite, debido a que coincide con la limpieza programada de la cuba de sosa caustica.

Mejora en la variabilidad del delta de color.

El delta del color es una variable que depende directamente del espesor de capa anódica por ende se realizó el cambio de barraje, implementación de un sistema de agitación, revisión y/o cambio de las tuberías de distribución, a cada uno de los naturales con la finalidad de eliminar la variación de micras entre perfiles de una misma carga.

La tabla de recolección de datos del espesor de capa anódica se encuentra en el apartado de anexos D.

Una vez obtenido los datos se procede a realizar el análisis tomando en cuenta las variables que influyen en el espesor de capa anódica, teniendo como resultado lo siguiente

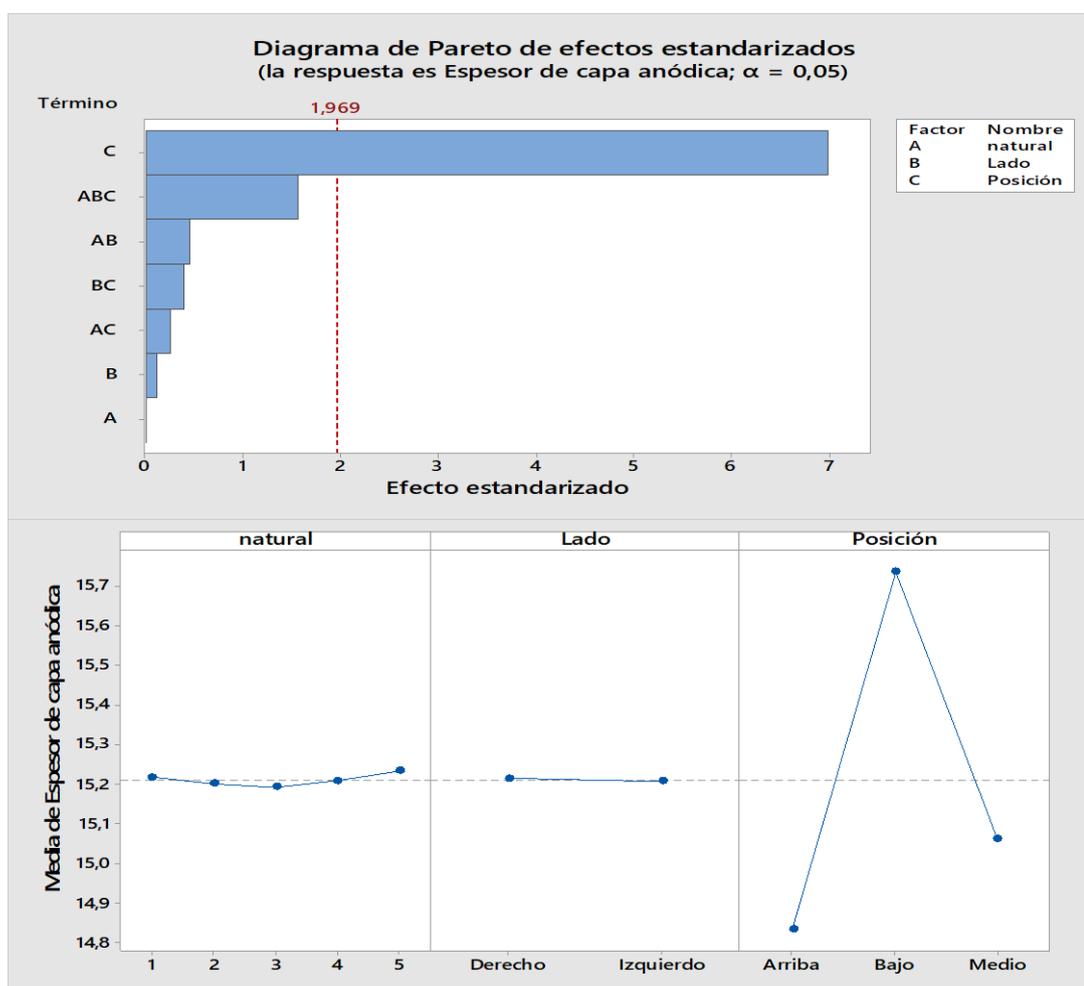


FIGURA 4.33 INTERACCIÓN DE VARIABLES CON MEJORA PARA LOS NATURALES

(Fuente: Departamento de producción)

Como se puede observar en la gráfica anterior la posición del perfil sigue siendo un factor de la variación del espesor de capa anódica, sin embargo, al realizar el análisis de capacidad del proceso actual versus el proceso inicial existe una mejora importante en la disminución de la variabilidad, como conclusión se puede afirmar que a pesar de la variación de espesor de capa anódica generada por la posición del perfil de aluminio el proceso capaz, aunque existen puntos fuera de los límites de control se visualiza una mejora considerable en la estabilidad del proceso con respecto a la carta de control \bar{x} del inicio del proyecto.

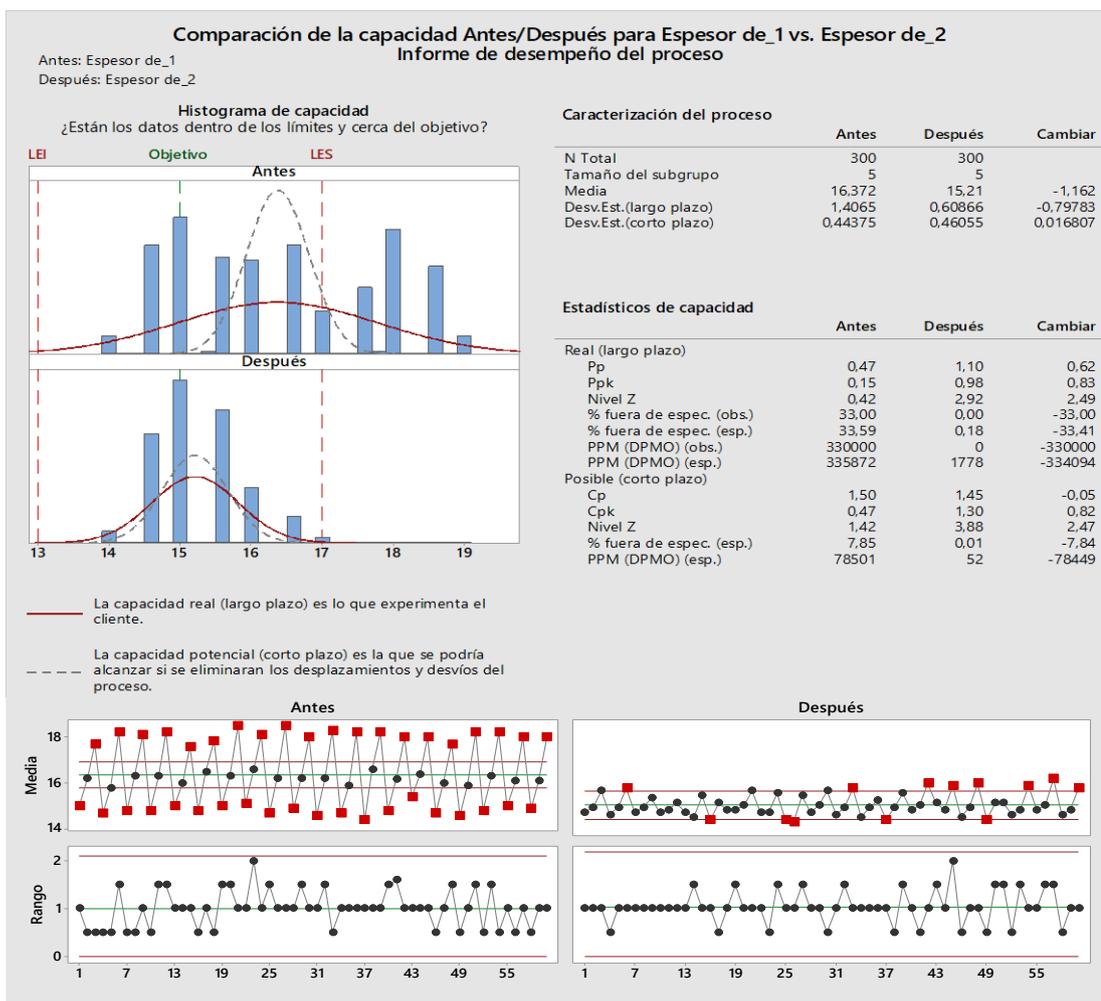


FIGURA 4.34 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y CARTAS DE CONTROL ANTES VS DESPUÉS PARA ESPESOR DE CAPA ANÓDICA

(Fuente: Departamento de producción)

Sin lugar a duda el cambio más grande se ve reflejado en los defectos por millón de oportunidades, con un Ppk inicial de 0,15 se obtiene un total de 335.872 DPMO con las mejoras y adecuaciones realizadas a las cubas de los naturales se obtuvo un Ppk final de 0,98 y solo 1.778 DPMO.

Adicional en el análisis de mejora la media cambió significativamente, ahora se encuentra más cerca del target, siendo la media del proceso 15,21 y el target 15.

Una vez disminuido la variación de espesor de capa anódica, el siguiente paso es analizar la capacidad de proceso de electro coloración, en el capítulo anterior en las pruebas realizadas se concluyó que a menor temperatura el delta de color también disminuía, por ende, se procedió a cambiar el set point de la temperatura de 20 °C a 19 °C , lo cual en conjunto con el espesor de capa anódica más uniforme ayudaran a obtener un tono de color más parejo entre perfiles de aluminio de una misma carga.

La tabla con los datos se encuentra en el anexo D.

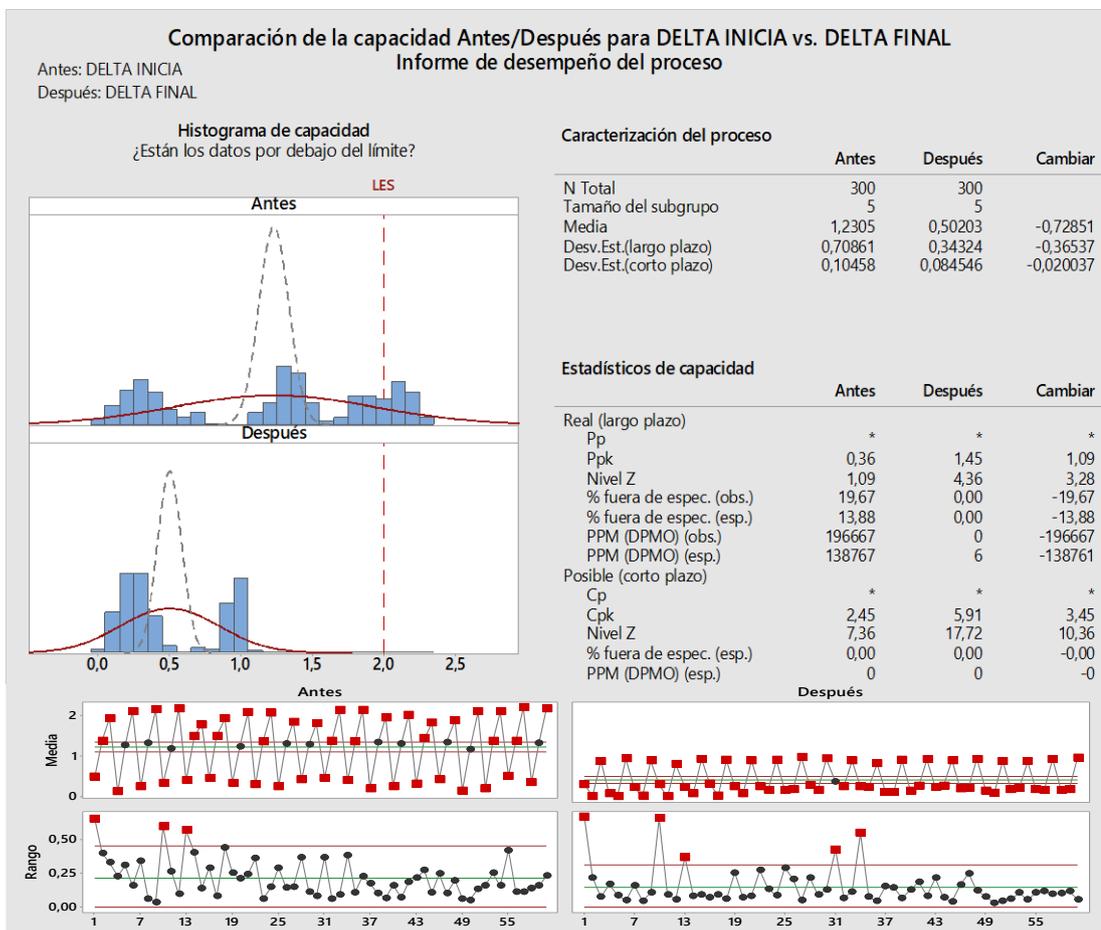


FIGURA 4.35 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y CARTAS DE CONTROL ANTES VS DESPUÉS PARA DELTA DE COLOR

(Fuente: Departamento de producción)

Al realizar la comparación del análisis de capacidad del delta de color se observa una disminución importante de la variabilidad, en el análisis del antes se puede observar que los datos se subdividen en 3 grupos que corresponden a la variación generada por la posición del perfil de aluminio en la carga, sin embargo, en la gráfica de la mejora se observa como los datos de los perfiles que se ubicaron en la parte de arriba y media se agrupan en un solo conjunto disminuyendo la variabilidad y asegurando un tono de color más uniforme, a pesar de los cambios realizados todavía existe una pequeña variación en los perfiles ubicados en la parte inferior, sin embargo el estudio cumple con todas las expectativas generadas debido a que todos los datos se encuentran dentro del rango permitido y distantes del límite superior.

Al terminar la comprobación estadística de la mejora en el proceso de anodizado el siguiente paso es la etapa de control.

4.5. Control

La etapa de control es el último paso de la metodología Dmaic, el objetivo es lograr que los resultados se mantengan a lo largo del tiempo, por la misma razón los trabajos y controles realizados hasta ese momento deben garantizar que las variables principales se mantengan dentro de los parámetros establecidos para mantener una capacidad de proceso estable y que dichas variables sean predecibles en el tiempo (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2004).

El control no solo debe enfocarse en el proceso, de igual manera hay que tomar en consideración que las mejoras deben incluir al establecimiento, normas, procedimientos, personal operativo y/o personal que esté involucrado directamente con el proceso productivo, Humberto Pulido en su libro Control estadístico de calidad establece que el control debe realizarse en 3 niveles: proceso, documentación y monitoreo.

En la etapa anterior de la metodología DMAIC se pudo visualizar una mejora considerable en el proceso de anodizado, dado que el presente proyecto cumple con todos los requerimientos antes mencionados entre los cuales, se realizaron cambios físicos en el proceso productivo, se emplearon nuevos controles, check list, procedimientos para los diferentes subprocesos, plan de trabajo, revisión de frecuencia de limpiezas y se hizo énfasis en el uso de las cartas de control para verificar el desempeño de las variables, con el fin de asegurar que los resultados deseados se mantengan y evitar que el proceso regrese a su estado inicial, eliminando los beneficios ganados y haciendo inútil todo el esfuerzo realizado. (Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2013)

En ese sentido se debe establecer un sistema de control que permita:

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso inicialmente regresen.
- Impedir que los procesos y procedimiento se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Alentar en la mejora continua.

4.5.1. Herramientas de control.

Durante el transcurso de la implementación del proyecto de mejora se fue creando y mejorando muchas herramientas como check list de proceso, check list de equipos, procedimientos, cartas de control entre otras.

Como muestra de tal, a continuación, se muestran algunas de las herramientas utilizadas.

CHECKLIST DE PROCESO ANODIZADO

DURAN		SUPERVISOR: _____		DESDE: _____	HASTA: _____					
		TURNO: _____		FECHA: _____						
BAÑOS	ENTRADA			SALIDA			LIMPIO			OBSERVACIONES
	[] / Al dis / Acil	T (°C)	% lodos	[] / Al dis / Acil	T (°C)	% lodos	Ph	SI	NO	
NEUTRALIZADO UNO										
DESENGRASE							CUBA 2			
AE							CUBA 6 (AE)			
SOSA UNO							CUBA 7 (AE)			
SOSA DOS							CUBA 10 (SOSA)			
NEUTRALIZADO DOS							CUBA 11 (SOSA)			
NATURAL UNO							CUBA 12 (SOSA)			
NATURAL DOS							CUBA 21 (NATURAL)			
NATURAL TRES							CUBA 22 (NATURAL)			
NATURAL CUATRO							CUBA 23 (NATURAL)			
NATURAL CINCO							CUBA 25 (EC 1)			
ELECTROCOLOR UNO							CUBA 27 (EC 2)			
ELECTROCOLOR DOS							CUBA 28 (N)			
SELLADO UNO							CUBA 29 (N)			
							CUBA 31 (EF)			
							CUBA 32 (EC)			

EQUIPOS	OPERATIVO		OBSERVACIONES	ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO	OPERATIVO		OBSERVACIONES
	SI	NO			SI	NO	
RECTIFICADOR UNO				SERPENTIN DE RECIRCULACION DEL AE			
BOMBA DE RECIRCULACION				SERPENTIN DE PREPARACION DEL AE			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				LINEA DE CALENTAMIENTO DESENGRASE			
RECTIFICADOR DOS				LINEA DE CALENTAMIENTO DE SOSA UNO			
BOMBA DE RECIRCULACION				LINEA DE ENFRIAMIENTO SOSA UNO			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				LINEA DE CALENTAMIENTO DE SOSA DOS			
RECTIFICADOR TRES				LINEA DE ENFRIAMIENTO SOSA DOS			
BOMBA DE RECIRCULACION				LINEA DE CALENTAMIENTO SELLADO UNO			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				LINEA DE CALENTAMIENTO SELLADO DOS			
RECTIFICADOR CUATRO				CHILLER			
BOMBA DE RECIRCULACION				NIVEL AGUA RETORNO			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				NIVEL AGUA ALMACENAMIENTO			
RECTIFICADOR CINCO				CALDERO			
BOMBA DE RECIRCULACION				NIVEL DE AGUA			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				FILTRO DEL AE			
RECTIFICADOR DECOLOR UNO				PRESIÓN DE ACEITE			
BOMBA DE RECIRCULACION				PRESIÓN DE AIRE			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				FILTRO DE SELLADO UNO			
RECTIFICADOR DE COLOR DOS				FILTRO DE SELLADO UNO			
BOMBA DE RECIRCULACION				FILTRO DE ELECTROCOLOR UNO			
BOMBA DE ENFRIAMIENTO				FILTRO DE ELECTROCOLOR DOS			

FIGURA 4.36 CHECK LIST DEL ÁREA DE ANODIZADO

(Fuente: Control de producción)

El check list del área de anodizado es un documento que debe ser llenado por el operador de proceso al iniciar el turno y al finalizar el mismo, este documento ayuda a mejorar el flujo de información de un turno a otro, debido a que, la información es documentada y el operador entrante recibía toda la información detallada del proceso.

LIMPIEZA DEL FILTRO DEL AE

FECHA	HORA	TURNO	SUPERVISA	RESPONSABLE	% DE LODOS	PRE / AIRE	OBSERVACIONES
6-11-20	9:30	A2	J. CAYAMBE	G. CRUZ	90%	2100 PSI	—
7-11-20	7:30	A2	J. CAYAMBE	G. CRUZ	80%	2000 PSI	—
9-11-20	7:45	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	90%	2200 PSI	SE SACÓ LA PLACA
10-11-20	8:30	A2	J. CAYAMBE	G. CRUZ	90%	2000 PSI	—
11-11-20	9:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	75%	2400 PSI	REVISION DE TENDIDO
12-11-20	8:45	A2	J. CAYAMBE	G. CRUZ	80%	2200 PSI	—
13-11-20	7:45	A2	J. CAYAMBE	G. CRUZ	90%	2200 PSI	—
14-11-20	8:00	A1	J. CAYAMBE	G. CRUZ	80%	2100 PSI	—
15-11-20	8:30	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	75%	2200 PSI	REVISION LONAS
16-11-20	7:45	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	90%	2000 PSI	—
17-11-20	8:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	80%	2200 PSI	—
19-11-20	9:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	75%	2000 PSI	REGULACION ACID
20-11-20	8:15	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	80%	2000 PSI	—
21-11-20	8:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	80%	2000 PSI	—
22-11-20	8:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	90%	2300 PSI	—
23-11-20	9:00	A3	J. CAYAMBE	G. CRUZ	50%	2800 PSI	REVISION
23-11-20	15:15	A3	J. CAYAMBE	G. CRUZ	50%	2000 PSI	CAMBIO OBRERA
24-11-20	8:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	100%	2200 PSI	—
25-11-20	9:00	A2	E. JARZAN	G. CRUZ	75%	2300 PSI	—

FIGURA 4.37 REGISTRO DE LIMPIEZA DEL FILTRO PRENSA

(Fuente: Departamento de producción)

El registro de limpieza del filtro prensa lo debe llenar el dosificador una vez terminada la actividad.

Anteriormente existía otro registro, pero no se le daba la importancia del caso, este proyecto de mejora dio un valor agregado a los registros implementados, debido a, que no era un simple registro, sino también era un documento que ayuda en la toma de decisiones, una de las actividades de mejora era la limpieza del filtro prensa a diario, por ende, este registre sirve para el control del mismo.

Implementación de cartas de control en laboratorio, además de ir registrando los valores de los análisis químicos también se implementó una carta de control x-barra que es un indicador rápido, visual y muy fácil de interpretar de cuál es el comportamiento del proceso, además existe una gráfica de campana de gauss para identificar la distribución análisis de los datos en un periodo de tiempo determinado.

Adicional a lo antes mencionado también existe apartado para la capacidad de proceso, la misma que se va actualizando de manera automática mientras el laboratorista digita los resultados de los análisis.

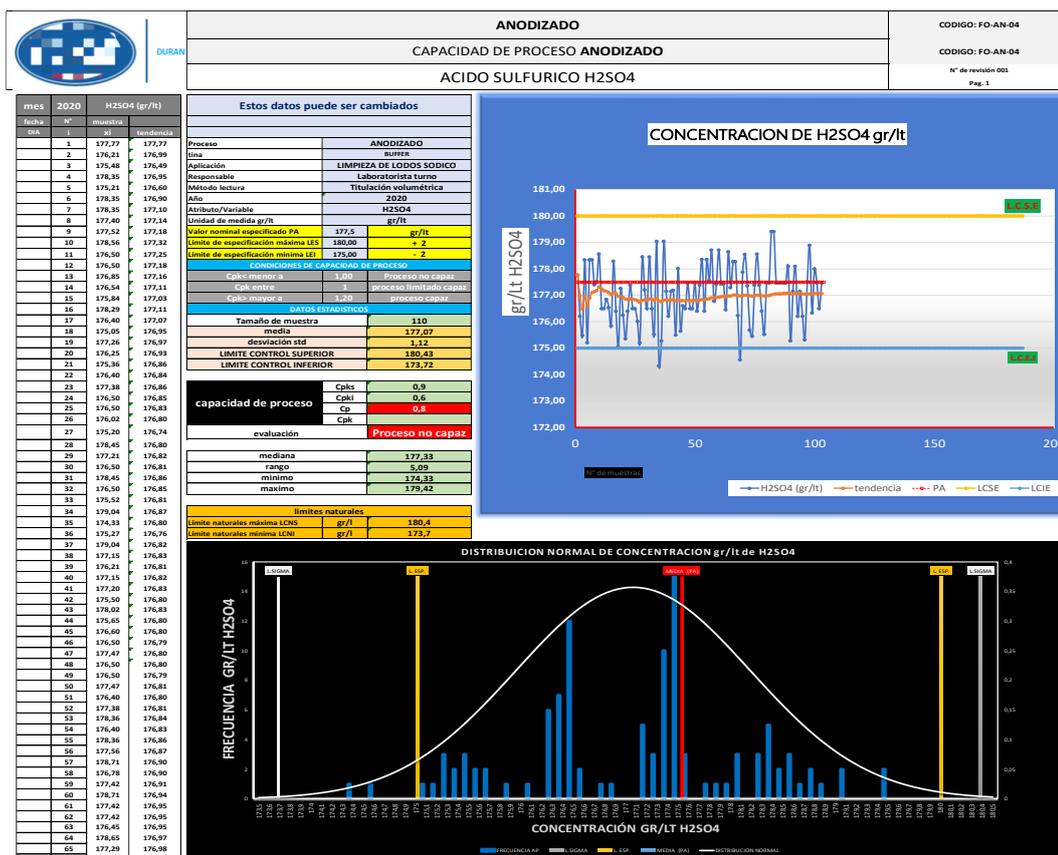


FIGURA 4.38 CARTAS DE CONTROL DE ANÁLISIS QUÍMICOS.
(Fuente: Laboratorio químico)

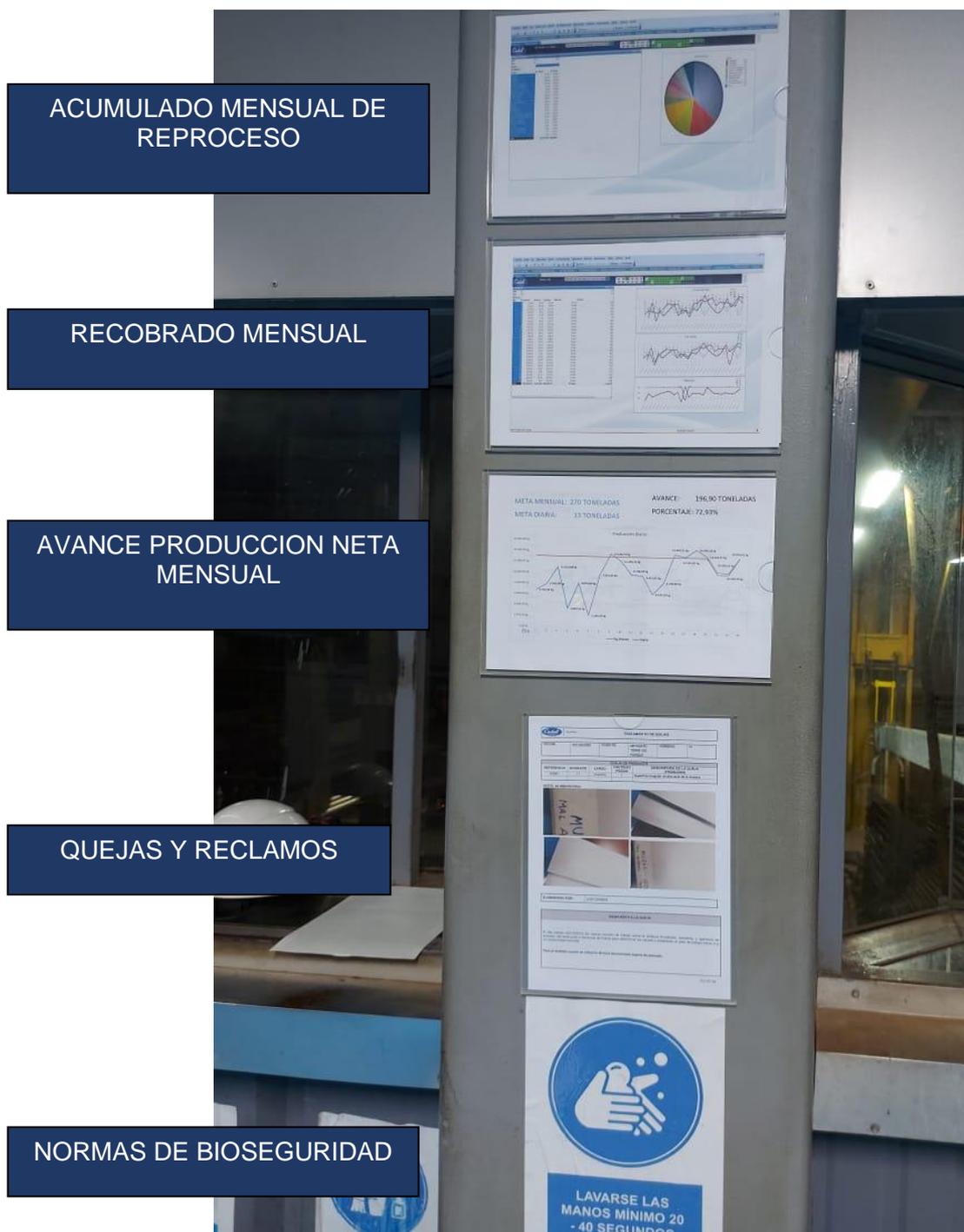


FIGURA 4.39 TABLERO DE CONTROL DMAIC.

(Fuente: Departamento de producción)

Código:		Versión: 001		Fecha de emisión:		Pág. 1 de 1	
Capacitación dirigida por: Janio Cayambe Diego Mestanza				Fecha de la capacitación: 05/10/2020		Acta No:	
				Lugar: Control Room		Duración: 2 horas	
Tema: Introducción a la mejora continua y metodología DMAIC 5's como herramienta de mejora de calidad							
N	NOMBRE Y APELLIDO	AREA	FUNCIÓN				
1	Carlos Bastidas	Anodizado	Operador Color				
2	M. Esthron Leon A	Anodizado	Operador				
3	Aurora Villareal	Anodizado	Erracador				
4	Jose Luis Alcala	Anodizado	operador II				
5	Liz Lae	Anodizado	Operador				
6	Antony Rodriguez	Anodizado	Desenrague				
7	Anthony Gomez	Anodizado	Desenrague				
8	Yury Dugan	Anodizado	Operador				
9	Andrés Roberto Aguirre Aguirre	Anodizado	Operador Operador				
10	Nancy Kivley	Anodizado	Desenrague				
11	Alvaro Jimenez	Anodizado	Operador				
12	Alberto Montalvo	Anodizado	Operador				
13	Victor Moran	Anodizado	Desenrague				
14	CRISTIAN PERALTA	Anodizado	Operador				
15							

FIGURA 4.40 ACTA DE CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE ANODIZADO

(Fuente: Departamento de producción)

Estos registros complementados con el cronograma de limpieza de cubas, el cual forma parte del plan de implementación comprenden los registros de control de las causas raíces.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS.

5.1. Reducción del porcentaje de reproceso

El presente proyecto de mejora inició en el mes de enero con un único objetivo que es la disminución del porcentaje de reproceso en el área de anodizado, el primer paso fue crear una base de datos donde se especifique el tipo de defecto por la que el perfil de aluminio es enviada a reproceso, recordar que la empresa no dispone de un sistema automático de registro de reprocesos, la etapa de definición y medición del proceso en sus diferentes variables empezó en el mes de junio y julio debido a que, la empresa tuvo que parar operaciones desde marzo hasta mayo por motivos ajenos a la organización, hasta esas instancias el área de anodizado se mantenía con niveles de reproceso muy por encima de los objetivos trazados por la organización.

La etapa análisis se realizó en el mes de agosto, esta etapa ayudó a enfocar los esfuerzos en las variables más críticas y sus causas raíces, para posterior en la etapa de mejora corregir, disminuir o eliminar las causas que están generando defectos en los perfiles de aluminio.

En la etapa de mejora se implementaron todos los cambios planteados en la etapa anterior, como consecuencia de ello la capacidad y estabilidad en las diferentes etapas del proceso productivo mejoraron, debido al gran esfuerzo del equipo de mejora, del personal que trabaja directa o indirectamente en el proceso de anodizado, el trabajo coordinado y constante se logró disminuir el porcentaje de reproceso, lo cual se puede evidenciar en la siguiente grafica.

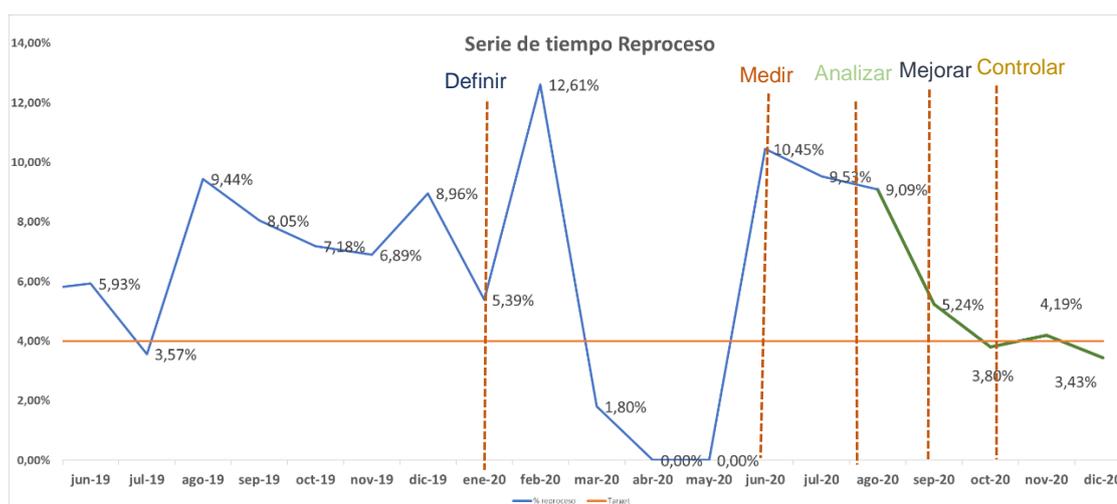


FIGURA 5.1 SERIE DE TIEMPO FINAL DE REPROCESO

(Fuente: Control de producción)

En la figura 5.1 se puede observar que a partir de la etapa de mejora el porcentaje de reproceso baja considerablemente hasta ubicarse dentro del rango establecido por el directorio, incluso el mes de diciembre presenta el porcentaje más bajo desde la creación del área de anodizado teniendo solo un porcentaje de reproceso del 3,43%.

Estos resultados alcanzados cumplen con todas las expectativas generadas en el desarrollo del proyecto, haciendo sentir orgulloso a todo el personal que de una u otra manera se relacionó y formó parte de este proyecto.

5.2. Costo de producción

Uno de los factores más importantes a tomar en consideración en el presente proyecto de mejora es el impacto económico que tendrá el costo de producción por tonelada, debido a que el reproceso era uno de las principales causas del elevado costo por tonelada.

Las purgas constantes y las limpiezas programadas generaron un aumento en el consumo de producto químico, tanto de Acid Etch como de sosa caústica, por ende, se analizará el comportamiento de estas variables durante el desarrollo del proyecto.

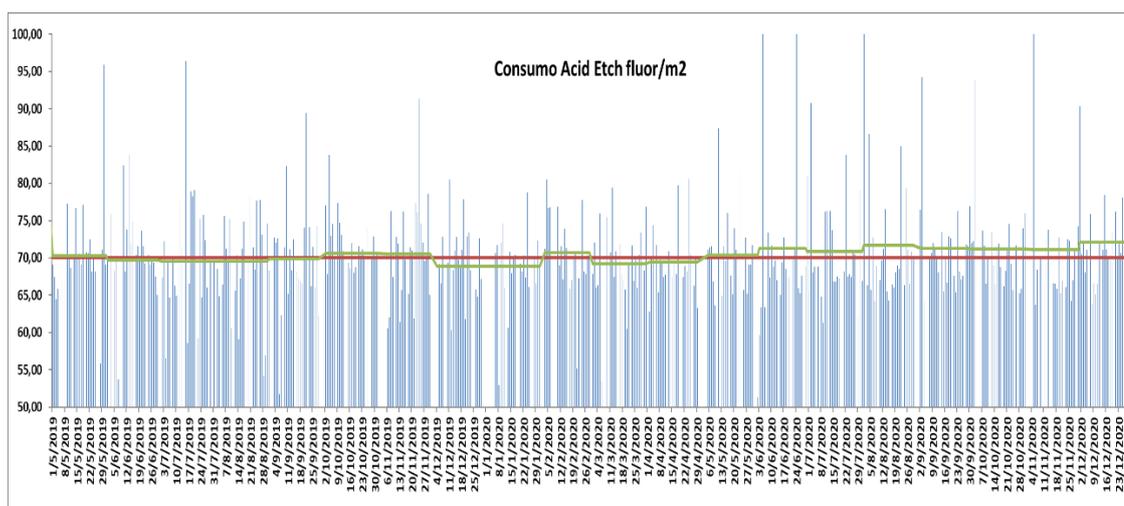


FIGURA 5.2 CONSUMO DE ACID ETCH

(Fuente: Departamento de producción)

La grafica anterior refleja un leve aumento en el consumo de Acid Etch a raíz de las limpiezas programadas de la tina, esto debido a que se pierde solución química en la actividad de trasvase para su posterior limpieza, así como el remanente de solución es evacuada debido al exceso de lodos que contiene, posterior a estas actividades de limpieza se debe compensar el nivel con agua y compensar concentración con solución de acid etch , estas compensaciones de químico conllevan un consumo mayor de solución lo cual se ve representado en los picos más altos de la gráfica.

Antes de las limpiezas programadas el promedio de consumo era de $69,78 \text{ gr/m}^2$ con lo cual se mantenía por debajo de la receta que establece un consumo de 70 gr/m^2 , a pesar de las pérdidas de solución y compensaciones el promedio de consumo final es de $72,08 \text{ gr/m}^2$ lo cual es un incremento insignificante en relación a los beneficios generados por esta práctica de limpieza.

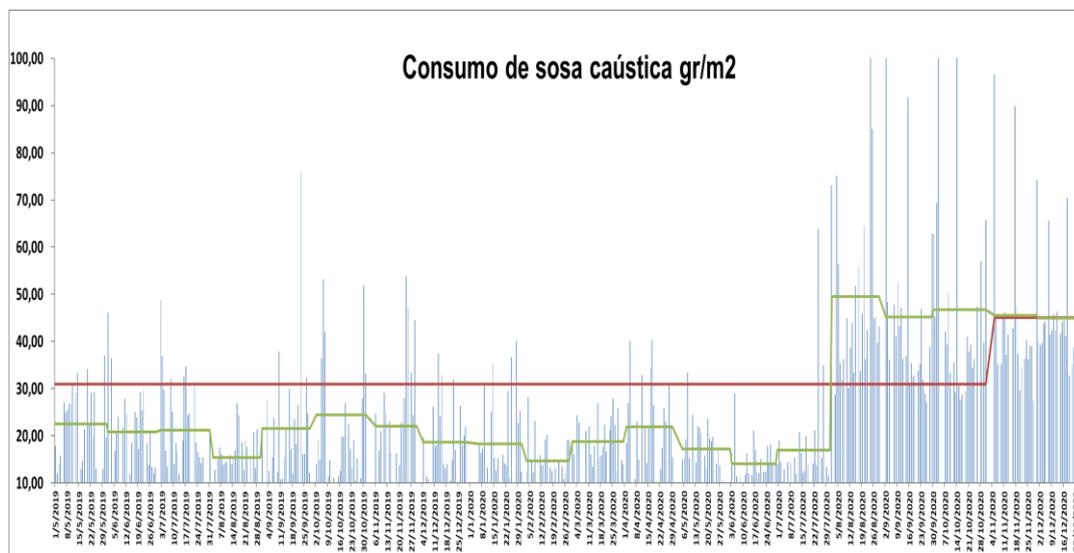


FIGURA 5.3 CONSUMO DE SOSA CAÚSTICA

(Fuente: Departamento de producción)

A diferencia del consumo del Acid etch en la gráfica de sosa cáustica se puede observar un aumento considerable en el consumo a raíz de las purgas constantes, recordar que esta cuba no dispone de un medio filtrante motivo por el cual las purgas son más frecuentes generando un consumo mayor al estipulado en la receta, en base a los resultados obtenidos y siguiendo los lineamientos en la etapa de mejora se decidió mover el target de consumo de 31 gr/m^2 a 45 gr/m^2 para que la gráfica muestre un comportamiento más estable.

Otro aspecto importante que muestra el histórico de consumo, es que anterior al proyecto de mejora el consumo de sosa cáustica se mantenía muy por debajo de lo recomendado por el proveedor, estos bajos consumos generan una falsa percepción con relación al costo de producción, debido a que genera la sensación de consumir menos, ahorrar más y obtener un costo de producción más bajo, lo cual es erróneo y se lo puede apreciar en la figura 5.4 planteada a continuación.

Por motivos de confidencialidad no se puede mostrar los datos de costos de producción en su totalidad, sin embargo, se realizó un cuadro resumen para su respectivo análisis.

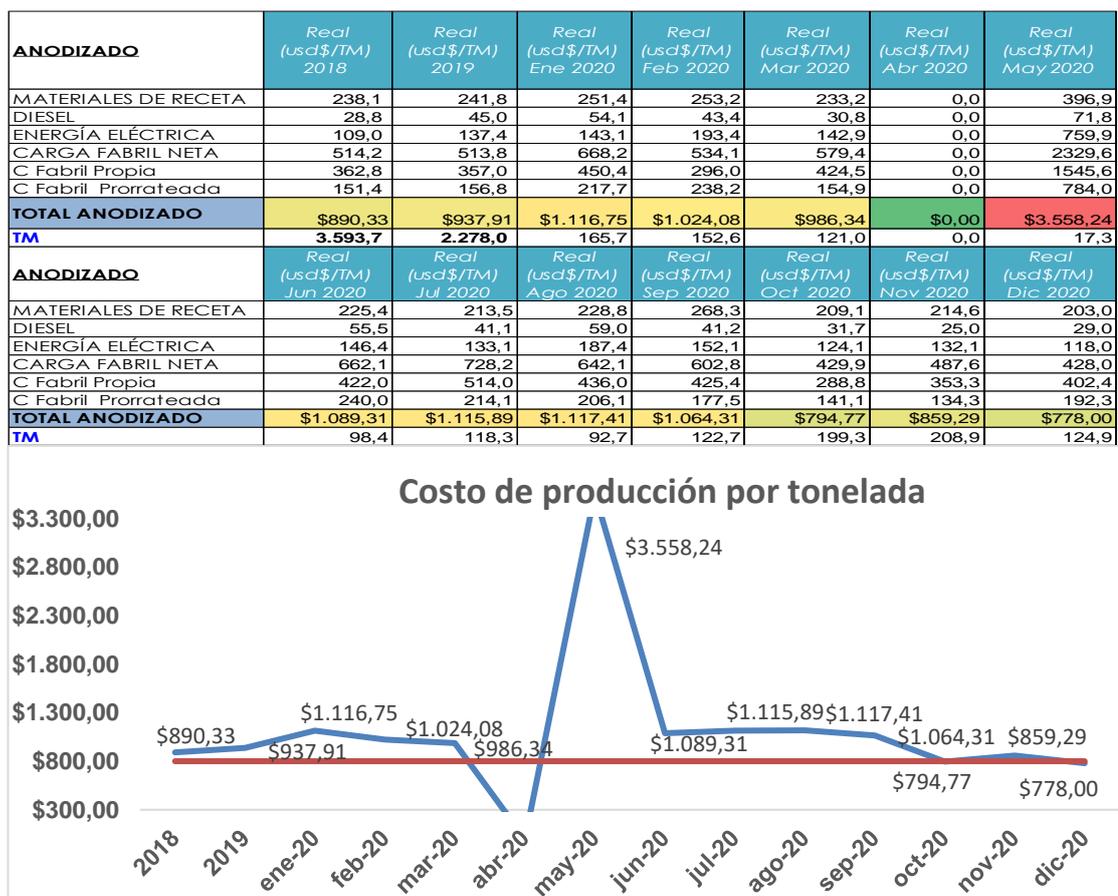


FIGURA 5.4 SERIE DE TIEMPO DE COSTO DE PRODUCCIÓN

(Fuente: departamento de producción)

En la figura 5.4 se corrobora lo mencionado anteriormente, que a pesar de tener un mayor consumo de producto químico el costo de producción es más bajo, esto debido a la disminución de material para reproceso lo que incrementa la efectividad del proceso.

Los costos promedios de los años anteriores rondan los 1000 dólares/ton, mientras que en los meses donde se logró bajar los índices de reproceso el costo bajó hasta 778 dólares/ton.

Los meses de abril y mayo son los más variables debido a diferentes consideraciones, el mes de abril registra un costo de \$ 0 debido a que ese mes no hubo actividades, a pesar que en mayo tampoco se reanudaron operaciones el jefe de área se vio en la necesidad de presentar el balance de costos debido a que lamentablemente se realizó un recorte de personal, incluso con las operaciones detenidas los sueldos seguían siendo cancelados a cada uno de los miembros del área de anodizado, todas estas consideraciones y algunas otras hicieron que el mes de mayo el costo de producción suba a 3558 dólares.

6. CAPÍTULO

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- 1 La implementación de la metodología Six sigma generó grandes beneficios para la organización, reduciendo los índices de reproceso de 7% hasta niveles nunca antes registrados, tal es el caso del mes de diciembre de 2020 teniendo solo un 3,43% de reproceso, otro beneficio significativo es la reducción del costo de producción por tonelada que se redujo a 778 dólares/ton, cuando el promedio general de costos de los años anteriores ronda los 1000 dólares/ton, esta reducción en el costo hace que el área de anodizado sea más competitiva reduciendo la brecha existente con nuestra filial en Latacunga.
- 2 La conformación del equipo de trabajo es parte primordial para el desarrollo del proyecto, debido a que, el personal del equipo de mejora estaba repartido en los diferentes turnos de trabajo, por ende, ellos eran los encargados de socializar, coordinar las actividades, procedimientos y mejoras al resto de sus compañeros, fomentando la creación de nuevos líderes en el desarrollo del proyecto.
- 3 Es vital para un proyecto Six sigma reducir la variabilidad de las variables que intervienen en el proceso productivo, con el presente proyecto se logró reducir la variabilidad en cada uno de los subprocesos analizados, dando como resultado un proceso más estable y capaz de producir con las especificaciones requeridas por el cliente interno, tal es el caso el caso del delta de color en el cual con ayuda de la disminución de la variación del espesor de capa anódica en los perfiles de una misma carga se obtuvo un Ppk de 1.45, lo cual redujo significativamente el defecto de claras de un 14,8% del reproceso total al iniciar el proyecto a tan solo un 4% al finalizar el mismo.
- 4 Mediante el presente estudio se determinó que 2 de los 3 defectos que generaban mayor índice de reproceso se debía al exceso de lodos presentes en la solución química, por ende, hay que hacer énfasis en el cronograma de limpieza de cubas establecido en la etapa de control, con el objetivo de mantener la cantidad de lodos dentro de los parámetros establecidos.
- 5 Conjuntamente con la reducción del índice de reproceso se alcanzó otro objetivo indirecto que es la disminución de la chatarra en el área de anodizado, tal como se mostró en la etapa de medición el reproceso era una causa principal para el excesivo índice de chatarra, esto se debía a que el 39% de la chatarra provenía de perfiles de reproceso.

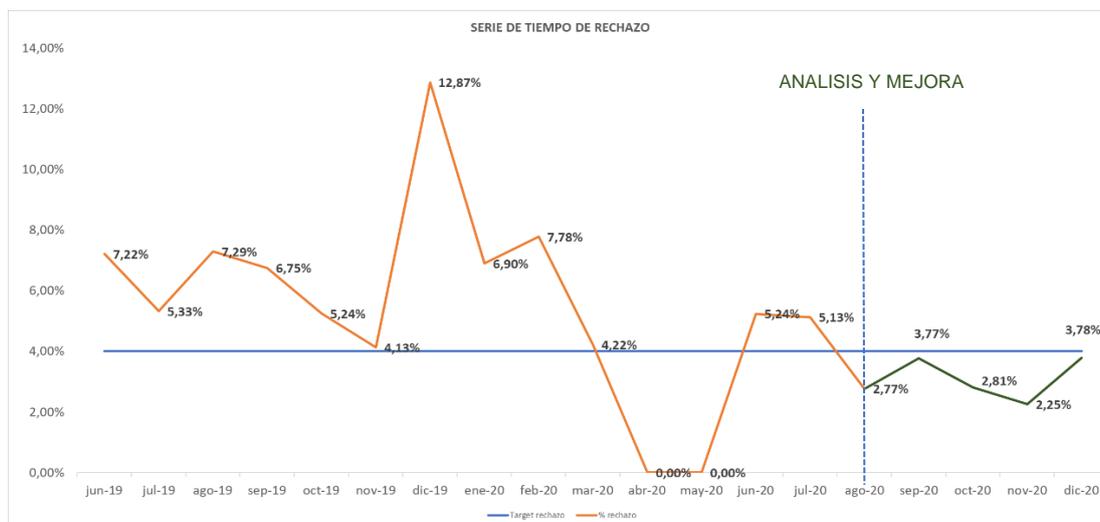


FIGURA 6.1 DIAGRAMA DE PARETO ETAPA DE CONTROL
(Fuente: control de producción)

6.2. Recomendaciones

- 1 Instalar un complemento en el sistema ERP para que el ingreso de los defectos de reprocesos sea de manera automática y no de manera manual como se lo realizó durante el periodo de estudio.
- 2 Fomentar estudios y proyectos de mejora para seguir reduciendo aún más los índices de reproceso en el área de anodizado.

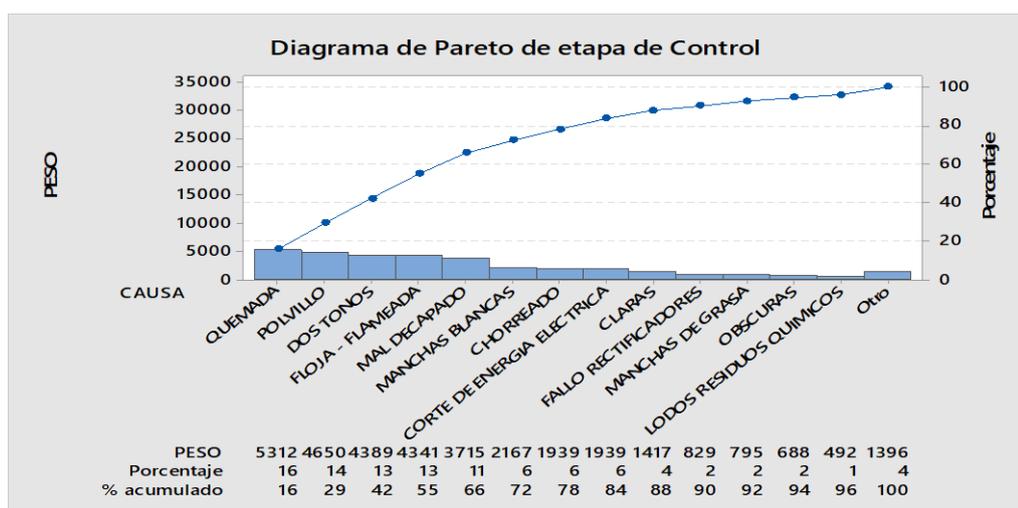


FIGURA 6.2 DIAGRAMA DE PARETO ETAPA DE CONTROL
(Fuente: control de producción)

Tal como se muestra en la figura 6.2 una vez terminado el proyecto de mejora existen otros defectos que han tomado protagonismo por su incidencia, Six sigma es una metodología de mejoramiento continuo por ende siempre habrá más cosas que analizar y mejorar.

- 3 Adecuar las cubas de los naturales para en un futuro montar un cátodo central el cual ayudará a homogenizar de mejor manera el espesor de capa anódica tanto como de la cara externa del perfil como la de la cara interna.
- 4 Instalar una línea de vida en los puentes grúas para precautelar la salud de los operadores cuando estos tengan que ubicarse sobre las cubas con el objetivo de dar agitación o recolectar algún tipo de muestra de las soluciones químicas.
- 5 Continuar con las capacitaciones constantes hacia los operadores de proceso, personal de enraque y desenraque como se ha venido desarrollando hasta el momento.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. J. (2011). *Seis sigma Métodos estadísticos y sus aplicaciones* (Primera ed.). Barranquilla: Universidad del Atlántico.
- Barba Pingarrón, A. (2014). Estudio sobre el proceso de anodizado de aluminio y una aleación AL-Mg-Si. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico D.F.
- DeFelsko Inspection Instrument. (2020). *Coating Thickness Gages for ALL Metal Substrates*. Obtenido de <https://www.defelsko.com/positector-6000>
- Escalante, V. J. (2008). *Seis sigma metodología y técnicas*. México D.F., México: Limusa.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara, R. (2013). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (Tercera ed.). México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México D.F., México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hidalgo, D. (2015). Implementación de un metodología con la técnica 5S para mejorar el área de matricería de una empresa extrusora de aluminio. (*Tesis de grado*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Guayaquil, Guayas.
- James R, E. (2015). *Administración y control de la calidad* (Novena Edición ed.). México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Konica Minolta Sensing Americas, Inc. (2020). *Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B**. Obtenido de Konica Minolta Sensing Americas, Inc.: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/products/medidor-de-colorimetria-cr-410/>
- Lemos, P. L. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Madrid, España: FC Editorial.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Food and Technology Science*, 10.
- Munro, R. A. (2015). *The certified six sigma green belt handbook* (Segunda ed.). Wisconsin: Americas Society for Quality .
- Muñoz Enriquez, M. O. (2006). Cálculo del recobrado global de la planta de perfiles en una empresa del sector metalúrgico. (*Tesis de grado*). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.

- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pande, P. S., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2004). Las claves prácticas del seis sigma. En *Una guía dirigida a los equipos de mejora continua* (pág. 382). Aravaca, Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The six sigma Handbook* (Third ed.). New York, New York: The McGraw-Hill Companies.
- Ramirez, J. M., & Ramirez, L. W. (2009). Efecto del anodizado sobre la razón de desgaste de una aleación de aluminio 6061. (*Proyecto de titulación*). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador .
- Tague, N. T. (2005). *The Quality Toolbox* (Second ed.). Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Urrego, M. L. (2013). *Seis sigma guía didáctica para pymes*. Ibagué: Universidad de Ibagué.
- Womack, J. (2011). *Gemba Walks*. Cambridge, Inglaterra: Lean Enterprise Institute.

ANEXOS

ANEXO A

PROJECT CHARTER DEL PROYECTO

Project Charter:		Disminuir el porcentaje de reproceso utilizando la metodología Six sigma	
Champion	D. M.	Jefe de área	
Dueño del proceso:	J. C.	Control de procesos	Líder: J. C.
Revisado por:	D. M.		Número de días: 120
Fecha de inicio:	Junio del 2020		
Resumen del proyecto			
Descripción:	<p>Desde la creación del área de Anodizado en el año 2014, ha mantenido un porcentaje promedio de reproceso del 7 %, este indicador se encuentra fuera de las expectativas del área y de lo requerido por la organización que estipula un máximo de 4%, mediante la reducción de la variabilidad y estandarización del proceso se pretende llegar al porcentaje antes mencionado durante el periodo de desarrollo del presente proyecto de titulación.</p> <p>A pesar de ser un indicador clave de rendimiento, por diferentes factores no se ha podido mantener dentro del rango estipulado, al realizar una comparativa con la filial en la ciudad de Latacunga, la empresa objeto de estudio presenta un costo de producción por tonelada más elevada, debido a que constantemente debe recurrir en gastos adicionales, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pago de horas extras en mano de obra directa Mayor consumo de productos químicos e insumos Cláusulas de castigo por incumplimiento de tiempos de entrega Mantenimiento de equipos 		
Objetivo:	Reducir el porcentaje de reproceso al 4%		
Beneficios	Mejorar el recobrado del área de anodizado		
	Mejorar la satisfacción del cliente		
	Mejorar el ambiente laboral		
	Disminuir los días laborables de 26 a 22 días		
Alcance	El presente proyecto se desarrollará en el área de Anodizado, área donde se realizarán los cambios, mejoras e implementaciones		
Presupuesto	El presupuesto asignado para los cambios, compra de equipos o insumo necesario para el presente proyecto es de \$10000		

Impacto en los KPI (key performan indicator)		
1	Costo/ton	Costos de producción
2	Recobrado	Productividad

Métricas de mejoramiento		Inicial	Final
1	Disminuir el porcentaje de reproceso	7,68%	4%
2	Disminuir los días laborables	26	22

Herramientas a utilizar							
ESTANDARIZAR	<input checked="" type="checkbox"/>	VSM	<input checked="" type="checkbox"/>	ANDON	<input type="checkbox"/>	SIPOC	<input checked="" type="checkbox"/>
PARETO	<input checked="" type="checkbox"/>	TPM	<input type="checkbox"/>	POKA YOKE	<input type="checkbox"/>	VOC	<input type="checkbox"/>
OTROS	<input checked="" type="checkbox"/>	AMEF	<input checked="" type="checkbox"/>	MAT. PRIO	<input checked="" type="checkbox"/>	SMED	<input type="checkbox"/>

Entregables	
1	Diagrama de proceso
2	Diagrama de Pareto
3	Diagrama de Ishikawa
4	Reporte de reprocesos
5	Graficas de control
6	Valué Stream mapping
7	Matriz AMEF
8	Diagrama SIPOC
9	
10	

Miembros del equipo		
1	D. M.	Jefe de acabados
2	J. C.	Control de procesos
3	L. A.	Control de calidad
4	E. F.	Laboratorio
5	J. Y.	Operador 1
6	J. A.	Operador 1
7	J. A.	Operador de Color
8	A. A.	Operador de Color
9	R. T.	Supervisor de empaque
10	J. C.	Supervisor de mantenimiento

Programación DMAIC:	Fecha:
DEFINIR	jun-20
Definición del Project charter y planificación de actividades	

Requerimientos	Responsable
Proyector	J. Y.
Libros, manuales	D. M. / J. C.

Medir	jun-20	Reserva del salón	J. Y.
Ejecución del plan de medición y recolección de datos		Inducción	D. M. / J. C.
Analizar	jul-20	Computadora	J. C.
Análisis de las causas de la variabilidad		Lunch	RRHH
Mejorar	sep-20	Personal Adicional	D. M.
Implementar cambios, elaboración de los procedimientos de estandarización		Papelógrafos	J. A.
Controlar	nov-20	Carteleras	J. A.
Elaboración del plan de control y auditorias			

Análisis Foda			
Fortalezas	Líder nacional en producción de perfiles de Aluminio	Oportunidades	Mejorar la calidad del producto
	Propia planta de fundición de billets de aluminio		Aumentar la cantidad de material empaçado
	Planta totalmente automatizada en su proceso de producción		Aumentar las exportaciones de perfiles de aluminio
	Variedad de acabados		Reducir el costo de producción por tonelada
Debilidades	Falta de coordinación entre departamentos	Amenazas	Posibilidad de volver a una cuarentena obligatoria
	Alto porcentaje de reproceso		Ausencia de personal por contagio de COVID-19
	Falta de motivación del personal		Demanda variable
	No contar con todo el equipo de trabajo por diferencia de horario		Sobrepasar el presupuesto asignado
Elaborado por:		Revisado por:	
J. C. Control de procesos		D. M. Jefe de acabados	
		Aprobado por	
		D. R. Gerente de planta	

ANEXO B

MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE MUESTRA DE PORCENTAJE DE LODO DEL AE

Manual de procedimiento para toma de muestra de porcentaje de lodos del AE		Fecha: 07/2020
		Revisión: Primera
Introducción:		
<p>El presente manual de procedimientos para el registro de porcentaje de lodo en la cuba del Ae se elabora con el propósito de estandarizar el proceso de recolección de los datos, debido al número de personas que intervienen en este proceso es necesario implementar este manual para eliminar o disminuir la diferencia del valor de las muestras entre operadores, lo cual hará la toma de decisiones más fácil y oportuna.</p>		
Objetivos:		
<p>Llevar un control sobre el porcentaje de lodo en la cuba del Ae para disminuir el porcentaje de reproceso de perfiles de aluminio que sean afectados por esta variable.</p> <p>Estandarizar la recolección de datos del porcentaje de lodos.</p>		
Alcance: Involucra la cuba del Ae y filtro prensa del Ae.		
Frecuencia: La toma de la muestra se deberá realizar 2 veces por cada turno de 8 horas		
Responsable: El responsable de hacer cumplir este procedimiento son los operadores de proceso, dosificador y control de procesos		
Procedimiento		
Paso	Detalle	Imagen
1	Poner el selector del puente grúa en manual y presionar el paro de movimiento	
2	Abrir completamente las válvulas de agitación lateral de la cuba del Ae	

3	Ubicarse correctamente el equipo de seguridad como: casco, mascarilla, arnés de seguridad, gatas antiempañantes	
4	Con el tubo de agitación remover los lodos desde la parte posterior hacia la parte de la pasarela por un lapso de 4 a 5 minutos	
5	En la probeta de plástico recoger una muestra de 1000 ml de solución, dejar reposar la muestra de 12 a 15 minutos para que los lodos se asienten totalmente antes de registrar el dato de porcentaje de lodo.	
6	Cerrar parcialmente las válvulas de agitación de la cuba, verificar que exista una agitación moderada en la misma	
7	Retirar el paro de movimientos del puente grúa y ubicar el selector en automático	
8	Registrar el valor de porcentaje de lodos en el formato de variables de la cuba del AE	
Autorizado por: Ing. D. M.		Realizado por: Ing. J. C.

ANEXO C

MATRIZ AMEF DE CAUSAS DE REPROCESOS

Actividad	modos de fallo	Efecto	Sev	Causa	Ocu	Controles	Det	RPN	
Puede ser un paso del proceso, actividad general, área funcional, u otra agrupación	¿Cuál es la falla potencial o el resultado no deseado de esta área?	Si se produce el modo de fallo ¿cuál será el efecto?		¿Qué es / son la causa / s del fallo?		¿Qué controles están en su lugar para evitar que la causa se produzca o se la pueda detectar?			
Matizado de perfiles	exceso de lodos	Perfiles con zonas sin matizado y brillosos	8	No se realizan limpiezas programadas de la cuba	7	No existe control para este proceso	7	392	
				Filtro prensa en malas condiciones	7	Check list de presión de aire	3	168	
						Check list de nivel de aceite	3	168	
						Revisión del estado de las lonas filtrantes	6	336	
				Baja frecuencia de limpieza del filtro prensa	7	Check list de limpieza de filtro	6	336	
				Falta de agitación en la cuba	5	Revisión y/o cambio de tubos de agitación	4	160	
				Mal diseño en la cuba del Ae	9	No existe control para este proceso	8	576	
				6	Tuberías de succión dañadas	5	Check list de mantenimiento	6	180
					Falta de movimiento de la carga durante el decapado ácido	9	Check list de mantenimiento	8	432
					Falta de agitación manual	2	Formato de registro de % de lodos	2	24

				Forma de enrascar errónea	3	No existe control para este proceso	4	72
	Excesiva rotación en el personal de dosificación	Falta de limpieza del filtro prensa	6	No existe una persona destinada a esta tarea y la limpieza es inadecuada.	8	No existe control para este proceso	7	336
	Temperatura baja Ae	Perfiles brillosos	8	Serpentín de calentamiento obstruido	2	No existe control para este proceso	5	80
				Sistema de control scada no funciona correctamente	2	Sistema scada de control	2	32
	Concentración baja AE	Perfiles brillosos	7	Toma errónea de la muestra	2	Control de concentración	3	42
				Bomba de dosificación dañada	2	Mantenimiento preventivo	4	56
				Final de carrera en mal estado	2	Control visual	4	56
	Insuficiente tiempo de tratamiento decapado ácido	Perfiles brillosos	7	Error en la receta del sistema scada de control	2	Qlickview de proceso	4	56
Limpieza del perfil	Exceso de aluminio disuelto sosa	Perfiles de aluminio con manchas y chorreados	8	Exceso de lodos en la solución de sosa cáustica	7	Análisis de laboratorio	7	392
				Falta de un medio filtrante	8	No existe control para este proceso	8	512
				Falta de limpieza de la tina	8	No existe control para este proceso	8	512
				Enjuagues sucios	3	No existe control para este proceso	3	72
				Falta de agitación en la cuba	3	No existe control para este proceso	2	48
				Falta de movimiento de la carga durante el decapado básico	7	Check list de mantenimiento	6	336

	Baja concentración sosa caustica	Perfiles manchados	6	Bomba dañada	2	No existe control para este proceso	5	60
				Toma errónea de la muestra sosa caustica	2	Control de concentración	3	36
				Tubería de dosificación taponada	4	No existe control para este proceso	3	72
				Sistema de dosificación automático dañado	2	Sistema de control allen bradley	3	36
	Temperatura baja Sosa cáustica	Perfiles manchados	6	Sistema de control scada no funciona correctamente	1	Sistema scada de control	2	12
	Baja concentración del neutralizado	Perfiles chorreados y con manchas	8	Toma errónea de la muestra neutralizado	2	Control de concentración	3	48
				Sistema de dosificación automático dañado	2	Sistema de control allen bradley	3	48
	Enjuagues de sosa	Perfiles chorreados y con manchas	6	Falta de agitación de los enjuagues	3	No existe control para este proceso	2	36
				Exceso de tiempo en los enjuagues	2	Control scada Gazzani	1	12
				Enjuagues sucios	4	Formato limpieza de cubas	3	72
	Insuficiente tiempo de tratamiento decapado básico	Perfiles manchados	7	Error en la receta del sistema scada de control	2	Qlickview de proceso	4	56
	Calidad de mf	Perfiles manchados	5	Exceso de impurezas en la composición química del perfil	4	No existe control para este proceso	3	60
	Delta de color	Espesor de capa anódica no adecuada	variación de capa anódica entre naturales	6	Temperatura no homogénea naturales	4	No existe control para este proceso	5
Falta de homogenización en la solución acida					4	No existe control para este proceso	5	120
Anotron descalibrado					4	Check list de mantenimiento	4	96
Voltaje no adecuado					2	Check list de mantenimiento	2	24

		Variación de espesor de capa anódica en la misma carga	9	Falta de barraje centrales naturales	9	No existe control para este proceso	8	648
				Falta de homogenización en la solución acida	3	Análisis de laboratorio	5	135
				Barrajes laterales muy largos naturales	9	No existe control para este proceso	8	648
				Falta de agitación en la cuba	5	No existe control para este proceso	4	180
				Temperatura no homogénea	4	No existe control para este proceso	4	144
				Forma de enrracar errónea	3	No existe control para este proceso	1	27
Temperatura no adecuada para la coloración	Variación en el tono de color	8	8	A mayor temperatura mayor es la variación de color	9	Formato de control de cargas	4	288
No existe buena conductividad	Variación en el tono de color	7	7	Perdida de conductividad por contactos sucios	5	Formato de limpieza de contactos	2	70
				Perdida de corriente por corrosión en los cátodos	3	No existe control para este proceso	2	42
Baja concentración de ácido sulfúrico y sulfato de estaño	Variación en el tono de color	8	8	Bomba dañada	2	No existe control para este proceso	5	80
				Toma errónea de la muestra sosa caustica	2	Control de concentración	3	48
				Sistema de dosificación automático dañado	2	Sistema de control allen bradley	3	48
Enjuagues muy ácidos	Variación en el espesor de capa anódica	7	7	Enjuagues muy ácidos dañan el espesor de capa anódica	4	Formato limpieza de cubas	3	84
				Exceso de tiempo en los enjuagues ácidos	2	Control scada Gazzani	1	14
Inspección de los perfiles	Iluminación insuficiente en la línea de proceso	Error en la toma de decisiones	9	No se puede visualizar correctamente el estado de los perfiles	6	No existe control para este proceso	8	432

ANEXO D

**TABLA DE DATOS ETAPA MEDICIÓN DE INTERACCIÓN DE VARIABLES DE
ESPESOR DE CAPA ANÓDICA Y DELTA DE COLOR**

Corrida	natural	Lado	Posición	Temperatura	Concentración Natural	Espesor de capa anódica	Temperatura color	Concentración Color	Delta de color (ΔE)
1	1	Derecho	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	14,50
1	1	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	1	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	1	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	1	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	1	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	1	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	15,50
1	1	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,50
1	1	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,50
1	1	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	1	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,50
1	1	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	1	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	1	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	1	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	1	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	1	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	1	Izquierdo	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	15,50
1	1	Izquierdo	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	15,50
1	1	Izquierdo	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	1	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,50
1	1	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	1	Izquierdo	Bajo	20	176,5	19	20	10,08	19,00
1	1	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,50
1	1	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	2	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,50
1	2	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50

1	2	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	2	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	2	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,00
1	2	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	15,50
1	2	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	2	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,50
1	2	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	17,00
1	2	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	2	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	18,50
1	2	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	2	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,50
1	2	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,00
1	2	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,50
1	2	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,00
1	2	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	2	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,00
1	2	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	2	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	2	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	15,50
1	2	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	15,50
1	2	Izquierdo	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	2	Izquierdo	Medio	20	176,5	17	20	10,08	16,00
1	2	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	2	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	19,00
1	2	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	2	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	18,00
1	2	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	2	Izquierdo	Bajo	20	176,5	19	20	10,08	18,00
1	3	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,50
1	3	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	3	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	3	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,50
1	3	Derecho	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	15,50
1	3	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,00
1	3	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	3	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	3	Derecho	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	16,50
1	3	Derecho	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	16,00
1	3	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,50
1	3	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,50
1	3	Derecho	Bajo	20	176,5	17	20	10,08	18,00
1	3	Derecho	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	18,50
1	3	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	3	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,00
1	3	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,50
1	3	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	3	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	3	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,50
1	3	Izquierdo	Medio	20	176,5	16	20	10,08	15,50

1	3	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	3	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	3	Izquierdo	Medio	20	176,5	17	20	10,08	16,50
1	3	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	3	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	17,50
1	3	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	3	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	17,00
1	3	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	3	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,7	20	10,08	18,50
1	4	Derecho	Arriba	20	176,5	16	20	10,08	15,00
1	4	Derecho	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	14,50
1	4	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,50
1	4	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	4	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	4	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00
1	4	Derecho	Medio	20	176,5	17	20	10,08	16,50
1	4	Derecho	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	16,00
1	4	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	4	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,50
1	4	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	17,50
1	4	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,00
1	4	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,50
1	4	Derecho	Bajo	20	176,5	19	20	10,08	18,50
1	4	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,00
1	4	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	15,00
1	4	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,50
1	4	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	14,50
1	4	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	4	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,00
1	4	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	16,50
1	4	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	15,50
1	4	Izquierdo	Medio	20	176,5	17	20	10,08	16,00
1	4	Izquierdo	Medio	20	176,5	17,5	20	10,08	17,00
1	4	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	4	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,50
1	4	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,00
1	4	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	17,50
1	4	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	18,00
1	4	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	19,00
1	5	Derecho	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,50
1	5	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	5	Derecho	Arriba	20	176,5	14	20	10,08	14,50
1	5	Derecho	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	14,00
1	5	Derecho	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	14,00
1	5	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	17,00
1	5	Derecho	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	17,00
1	5	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,50
1	5	Derecho	Medio	20	176,5	16	20	10,08	16,50
1	5	Derecho	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	16,00

1	5	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,50
1	5	Derecho	Bajo	20	176,5	19	20	10,08	18,50
1	5	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	17,50
1	5	Derecho	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,00
1	5	Derecho	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,50
1	5	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	14,00
1	5	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15,5	20	10,08	14,50
1	5	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	5	Izquierdo	Arriba	20	176,5	15	20	10,08	15,50
1	5	Izquierdo	Arriba	20	176,5	14,5	20	10,08	15,00
1	5	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	16,50
1	5	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	17,00
1	5	Izquierdo	Medio	20	176,5	16,5	20	10,08	15,50
1	5	Izquierdo	Medio	20	176,5	17	20	10,08	16,50
1	5	Izquierdo	Medio	20	176,5	15,5	20	10,08	15,40
1	5	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18,5	20	10,08	18,00
1	5	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	17,50
1	5	Izquierdo	Bajo	20	176,5	17,5	20	10,08	18,50
1	5	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	18,50
1	5	Izquierdo	Bajo	20	176,5	18	20	10,08	17,50
2	1	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,00
2	1	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	1	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	1	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	1	Derecho	Arriba	20,5	177	14	20,5	10,03	15,00
2	1	Derecho	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	1	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	1	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,00
2	1	Derecho	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,50
2	1	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	1	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	1	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	1	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	1	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	1	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	1	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	1	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	1	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14	20,5	10,03	15,00
2	1	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,50
2	1	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,50
2	1	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	1	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	1	Izquierdo	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	1	Izquierdo	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,50
2	1	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	1	Izquierdo	Bajo	20,5	177	19	20,5	10,03	17,50
2	1	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	1	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	1	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	19,00

2	1	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	2	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,00
2	2	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	2	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,00
2	2	Derecho	Arriba	20,5	177	14	20,5	10,03	15,00
2	2	Derecho	Arriba	20,5	177	14	20,5	10,03	15,50
2	2	Derecho	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,00
2	2	Derecho	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,50
2	2	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	2	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	15,50
2	2	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	15,50
2	2	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	2	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	17,50
2	2	Derecho	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,00
2	2	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	2	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	2	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14	20,5	10,03	15,00
2	2	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,00
2	2	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	2	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15,5	20,5	10,03	14,50
2	2	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	2	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,00
2	2	Izquierdo	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,00
2	2	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	2	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	17,00
2	2	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,4	20,5	10,03	16,50
2	2	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	2	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	18,00
2	2	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	17,50
2	2	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	2	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,70
2	3	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	3	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	3	Derecho	Arriba	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	3	Derecho	Arriba	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	3	Derecho	Arriba	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	3	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	3	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	3	Derecho	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	17,00
2	3	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	3	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	3	Derecho	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,50
2	3	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	3	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	3	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	3	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	3	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	3	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,50
2	3	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,50

2	3	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	3	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,50
2	3	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	3	Izquierdo	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	3	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,00
2	3	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	3	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	3	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,50
2	3	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	3	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,50
2	3	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17	20,5	10,03	17,00
2	3	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	4	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	4	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,00
2	4	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,00
2	4	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	4	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	4	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	4	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	15,50
2	4	Derecho	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	4	Derecho	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	4	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	4	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,50
2	4	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	4	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	4	Derecho	Bajo	20,5	177	19	20,5	10,03	17,50
2	4	Derecho	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	17,00
2	4	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,50
2	4	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,50
2	4	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	14,50
2	4	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	4	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	4	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	4	Izquierdo	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,00
2	4	Izquierdo	Medio	20,5	177	17	20,5	10,03	16,00
2	4	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,00
2	4	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	16,50
2	4	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	4	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	4	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	4	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,50
2	4	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,00
2	5	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	16,00
2	5	Derecho	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	5	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	5	Derecho	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	5	Derecho	Arriba	20,5	177	15,5	20,5	10,03	14,50
2	5	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,50
2	5	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	17,00

2	5	Derecho	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	15,50
2	5	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,50
2	5	Derecho	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,00
2	5	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,00
2	5	Derecho	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	5	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,50
2	5	Derecho	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	19,00
2	5	Derecho	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	18,50
2	5	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,50
2	5	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	5	Izquierdo	Arriba	20,5	177	14,5	20,5	10,03	15,50
2	5	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	14,50
2	5	Izquierdo	Arriba	20,5	177	15	20,5	10,03	15,00
2	5	Izquierdo	Medio	20,5	177	15,5	20,5	10,03	15,50
2	5	Izquierdo	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	16,50
2	5	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	17,00
2	5	Izquierdo	Medio	20,5	177	16	20,5	10,03	17,50
2	5	Izquierdo	Medio	20,5	177	16,5	20,5	10,03	16,50
2	5	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
2	5	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	18,00
2	5	Izquierdo	Bajo	20,5	177	17,5	20,5	10,03	18,00
2	5	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18	20,5	10,03	17,50
2	5	Izquierdo	Bajo	20,5	177	18,5	20,5	10,03	18,50
3	1	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	1	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	14,50
3	1	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	14,50
3	1	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	1	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	1	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	1	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	1	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	1	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	1	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	1	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,00
3	1	Derecho	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,00
3	1	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,50
3	1	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	19,00
3	1	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	17,50
3	1	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14	19,5	9,98	15,00
3	1	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	1	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	1	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	1	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	1	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	16,50
3	1	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	17,00
3	1	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	17,00
3	1	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	1	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	15,50
3	1	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,00

3	1	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	1	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,50
3	1	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	1	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	2	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	2	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,00
3	2	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	2	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	2	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,50
3	2	Derecho	Medio	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	17,00
3	2	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	2	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	2	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	2	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	2	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	2	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,50
3	2	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,00
3	2	Derecho	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,00
3	2	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,50
3	2	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	2	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,00
3	2	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,50
3	2	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	2	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	2	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	2	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	2	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	15,50
3	2	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	2	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	2	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,50
3	2	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,50
3	2	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	2	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	19	19,5	9,98	17,50
3	2	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	17,50
3	3	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	3	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	14,50
3	3	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	14,00
3	3	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	3	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	3	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	3	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	15,50
3	3	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	3	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	3	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	3	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	3	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	19,00
3	3	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	3	Derecho	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,50
3	3	Derecho	Bajo	19,5	175,9	17	19,5	9,98	18,00

3	3	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,00
3	3	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,50
3	3	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	3	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	3	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	3	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	3	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	3	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	3	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	17,00
3	3	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	15,50
3	3	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,50
3	3	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,00
3	3	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	17,50
3	3	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,00
3	3	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	4	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	4	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	14,50
3	4	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	4	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	4	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	4	Derecho	Medio	19,5	175,9	17	19,5	9,98	16,00
3	4	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	4	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,50
3	4	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	4	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	4	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	4	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	4	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	4	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	17,50
3	4	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,00
3	4	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	4	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	4	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	14,50
3	4	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	15,00
3	4	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,00
3	4	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	15,50
3	4	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	16,00
3	4	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	16,50
3	4	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,00
3	4	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	4	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	4	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	17,50
3	4	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	17,50
3	4	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,00
3	4	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	5	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	5	Derecho	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	5	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50

3	5	Derecho	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	5	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	5	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	5	Derecho	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	5	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	5	Derecho	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	5	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	5	Derecho	Bajo	19,5	175,9	18	19,5	9,98	18,00
3	5	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	5	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	5	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	5	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	14,5	19,5	9,98	14,50
3	5	Izquierdo	Arriba	19,5	175,9	15	19,5	9,98	15,00
3	5	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	15,5	19,5	9,98	15,50
3	5	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	5	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	5	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16,5	19,5	9,98	16,50
3	5	Izquierdo	Medio	19,5	175,9	16	19,5	9,98	16,00
3	5	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	19	19,5	9,98	19,00
3	5	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	18,5	19,5	9,98	18,50
3	5	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	19	19,5	9,98	19,00
3	5	Izquierdo	Bajo	19,5	175,9	17,5	19,5	9,98	17,50

ANEXO E

TABLA DE DATOS ETAPA MEJORA INTERACCIÓN DE VARIABLES ESPESOR DE CAPA ANÓDICA Y DELTA DE COLOR

Corrida	natural	Lado	Posición	Temperatura	Concentración Natural	Espesor de capa anódica	Temperatura color	Concentración Color	Delta de color (ΔE)
1	1	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,13
1	1	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,15
1	1	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,66
1	1	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,79
1	1	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,22
1	1	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,24
1	1	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,04
1	1	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,12
1	1	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,13
1	1	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,02
1	1	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,91
1	1	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,98
1	1	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,94
1	1	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,92
1	1	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,96
1	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,14
1	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
1	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,20
1	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,15
1	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,08
1	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,15
1	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,13
1	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,09
1	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,07
1	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,11
1	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,02
1	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,01
1	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,00
1	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,01
1	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,97
1	2	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,39
1	2	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,33
1	2	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,30
1	2	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,23

1	2	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,34
1	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,12
1	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,13
1	2	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,10
1	2	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,14
1	2	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,12
1	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,97
1	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,99
1	2	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,89
1	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,97
1	2	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,91
1	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,12
1	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,15
1	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,66
1	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,78
1	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,22
1	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,13
1	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,04
1	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,10
1	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,13
1	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,11
1	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,89
1	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,87
1	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,86
1	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,84
1	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,87
1	3	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,12
1	3	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,33
1	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,33
1	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,49
1	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,37
1	3	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,13
1	3	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,18
1	3	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,20
1	3	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,20
1	3	Derecho	Medio	20	175,8	14	19	10,05	0,21
1	3	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	1,01
1	3	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,02
1	3	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,94
1	3	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,03
1	3	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,94
1	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,39
1	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14	19	10,05	0,41
1	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,37
1	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,39
1	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,44
1	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,08
1	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,13
1	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,10

1	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,16
1	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,17
1	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	14,5	19	10,05	0,97
1	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,99
1	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,94
1	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,99
1	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,95
1	4	Derecho	Arriba	20	175,8	16	19	10,05	0,22
1	4	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,33
1	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,33
1	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,47
1	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,34
1	4	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,17
1	4	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,18
1	4	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,21
1	4	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,19
1	4	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,14
1	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,92
1	4	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,95
1	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,94
1	4	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	1,00
1	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,93
1	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,49
1	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,22
1	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,31
1	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,33
1	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,34
1	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,20
1	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,23
1	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,34
1	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,22
1	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,33
1	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	1,00
1	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,92
1	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,94
1	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,99
1	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,97
1	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,35
1	5	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,39
1	5	Derecho	Arriba	20	175,8	14	19	10,05	0,10
1	5	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,12
1	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,33
1	5	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,28
1	5	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,14
1	5	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,28
1	5	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,29
1	5	Derecho	Medio	20	175,8	14	19	10,05	0,35
1	5	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	1,00
1	5	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,05

1	5	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	1,05
1	5	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	1,04
1	5	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,00
1	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,36
1	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,24
1	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,46
1	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,41
1	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,37
1	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,24
1	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,22
1	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,31
1	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,22
1	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,31
1	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,05
1	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,05
1	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,98
1	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,93
1	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,96
2	1	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,66
2	1	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,50
2	1	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,48
2	1	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,38
2	1	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,24
2	1	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,32
2	1	Derecho	Medio	20	175,8	16	19	10,05	0,31
2	1	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,34
2	1	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,37
2	1	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,38
2	1	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,93
2	1	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,94
2	1	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,99
2	1	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,00
2	1	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,88
2	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,13
2	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,24
2	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14	19	10,05	0,35
2	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,29
2	1	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,67
2	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,32
2	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,31
2	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,30
2	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,34
2	1	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,37
2	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,87
2	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,86
2	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,90
2	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,88
2	1	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,91
2	2	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,23

2	2	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,15
2	2	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,19
2	2	Derecho	Arriba	20	175,8	14	19	10,05	0,18
2	2	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,30
2	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,29
2	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,15
2	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,15
2	2	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,18
2	2	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,27
2	2	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,97
2	2	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,93
2	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,95
2	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,99
2	2	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,99
2	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,20
2	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,19
2	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,31
2	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,31
2	2	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,22
2	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,40
2	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,37
2	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,41
2	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,35
2	2	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,23
2	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,00
2	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,98
2	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,94
2	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,96
2	2	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	1,02
2	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,18
2	3	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,34
2	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,31
2	3	Derecho	Arriba	20	175,8	16	19	10,05	0,36
2	3	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,40
2	3	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,34
2	3	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,35
2	3	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,35
2	3	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,36
2	3	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,41
2	3	Derecho	Bajo	20	175,8	17	19	10,05	0,96
2	3	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,98
2	3	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,96
2	3	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,96
2	3	Derecho	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,94
2	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,31
2	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
2	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,38
2	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,22
2	3	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,31

2	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,39
2	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,38
2	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,31
2	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,32
2	3	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,14
2	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	1,01
2	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,91
2	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,03
2	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,01
2	3	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,96
2	4	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,24
2	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,26
2	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,27
2	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,20
2	4	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,23
2	4	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,20
2	4	Derecho	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,20
2	4	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,20
2	4	Derecho	Medio	20	175,8	16	19	10,05	0,18
2	4	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,21
2	4	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,94
2	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,91
2	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,94
2	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,96
2	4	Derecho	Bajo	20	175,8	15	19	10,05	0,94
2	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,25
2	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
2	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
2	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,30
2	4	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,29
2	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,23
2	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,34
2	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,34
2	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,32
2	4	Izquierdo	Medio	20	175,8	14	19	10,05	0,34
2	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,91
2	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,93
2	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,96
2	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,91
2	4	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	0,92
2	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,25
2	5	Derecho	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
2	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,26
2	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,34
2	5	Derecho	Arriba	20	175,8	15,5	19	10,05	0,23
2	5	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,32
2	5	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,20
2	5	Derecho	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,24
2	5	Derecho	Medio	20	175,8	16	19	10,05	0,28

2	5	Derecho	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,27
2	5	Derecho	Bajo	20	175,8	17	19	10,05	1,05
2	5	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,95
2	5	Derecho	Bajo	20	175,8	17	19	10,05	1,00
2	5	Derecho	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	0,98
2	5	Derecho	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,99
2	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,24
2	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,29
2	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	14,5	19	10,05	0,25
2	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,21
2	5	Izquierdo	Arriba	20	175,8	15	19	10,05	0,31
2	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15,5	19	10,05	0,32
2	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	14,5	19	10,05	0,32
2	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,32
2	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,21
2	5	Izquierdo	Medio	20	175,8	15	19	10,05	0,21
2	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,02
2	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,04
2	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	15,5	19	10,05	1,05
2	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16	19	10,05	1,02
2	5	Izquierdo	Bajo	20	175,8	16,5	19	10,05	0,99