

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA
OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

**REDISEÑO DEL PROCESO DE ANODIZADO DE
LA EMPRESA ANODIZADOS
INTERNACIONALES S. A. PARA ACCEDER AL
MERCADO AEROESPACIAL**

Elaborado por: Benjamin Pavlotzky Blank

Tutora: Ing. Diana Francela Córdoba Pérez

Heredia, octubre, 2018

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 23/11/2018

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Benjamin Paulitzky Blank con número de identificación 801100281 autor (a) del trabajo de graduación titulado Rediseño del proceso de modizado de la presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar por el título de Lic. Ing. Industrial; (SI) / (NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

Empresa Análisis internacionales S.A. Para Acceder Al mercado especializado

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

Benjamin Paulitzky Blank
Firma y Documento de Identidad

DECLARACIÓN JURADA

Yo Benjamin Pavlotzky Blank, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 8-0110-0281 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: REDISEÑO DEL PROCESO DE ANODIZADO DE LA EMPRESA ANODIZADOS INTERNACIONALES S.A. PARA ACCEDER AL MERCADO AEROESPACIAL, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 16 días del mes de agosto del año dos mil dieciocho.



Firma del estudiante

Cédula 801100281

San José, 16 de agosto de 2018

Universidad Hispanoamericana
Carrera de Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

La estudiante **BENJAMIN PAVLOTZKY BLANK**, cédula de identidad número **8-0110-0281**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **REDISEÑO DEL PROCESO DE ANODIZADO DE LA EMPRESA ANOODIZADOS INTERNACIONALES S.A. PARA ACCEDER AL MERCADO AEROSPAZIAL**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de **Licenciatura en Ingeniería Industrial**. En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINALIDAD DEL TEMA	10%	9
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	28
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20
	TOTAL	100%	95

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Heredia, 23 de octubre de 2018

Señores

Departamento de Registro

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

En mi calidad de lectora del proyecto de graduación presentado por el estudiante Benjamin Pavlotzky Blank, titulado "Rediseño del proceso de anodizado de la empresa Anodizados Internacionales S.A para acceder al mercado aeroespacial", para optar por la Licenciatura en Ingeniería Industrial, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso y he evaluado aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

Debido a lo anterior considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser trasladado al proceso de revisión por el filólogo.

Atentamente,



Ana Catalina Leandro Sandí

Cédula: 3-0398-0478

IPI-22762

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

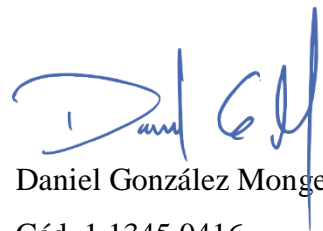
Los suscritos, Elena Redondo Camacho, cédula de identidad número 3 0447 0799 y Daniel González Monge, cédula de identidad número 1 1345 0416, en calidad de filólogos, revisamos y corregimos el trabajo final de graduación que lleva por título *Rediseño del proceso de anodizado de la empresa Anodizados Internacionales S. A. para acceder al mercado aeroespacial*, sustentado por Benjamin Pavlotzky Blank.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Hispanoamericana.



Elena Redondo Camacho
Céd. 3 0447 0799
Bachiller en Filología Española
Carné ACFIL 0247



Daniel González Monge
Céd. 1 1345 0416
Bachiller en Filología Española
Carné ACFIL 0245

Se certifica que el proyecto de graduación denominado “*Rediseño del proceso de anodizado de ANODIZADOS INTERNACIONALES S. A. para acceder al mercado aeroespacial*” presentado por el estudiante Benjamin Pavlotzky Blank, carné estudiantil n.º 103200022600, cumple con las regulaciones, normas y requisitos establecidos en la política de investigación de la UH y las establecidas por las autoridades educativas nacionales, así como los requisitos mínimos de calidad, contenido y sustentación exigidos por la Universidad.

ÍNDICE

Índice.....	v
Índice de figuras.....	ix
Índice de cuadros.....	xi
Acrónimos y siglas.....	xiii
Resumen.....	xiv
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Descripción general del proyecto.....	2
1.2. Identificación de la empresa.....	3
1.2.1. Misión.....	4
1.2.2. Visión.....	4
1.2.3. Valores.....	4
1.2.4. Política de la Calidad.....	5
1.2.5. Estructura organizacional.....	5
1.2.6. Productos ofrecidos.....	5
1.2.7. Datos de producción históricos.....	6
1.2.8. Descripción general del proceso productivo.....	6
1.2.9. Antecedentes del contexto de la empresa.....	6
1.3. Planteamiento del problema.....	7

1.3.1. La idea del problema.....	7
1.3.2. Definición del problema.....	8
1.3.3. Justificación.....	9
1.4. Objetivos de la investigación.....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
1.5. Alcances y limitaciones.....	10
1.5.1. Alcances.....	10
1.5.2. Limitaciones.....	11
Capítulo 2. Marco teórico.....	12
2.1. Marco conceptual general relativo a la carrera.....	13
2.1.1. Orígenes de la industria aeroespacial.....	14
2.1.2. NADCAP.....	15
2.1.3. Anodizado.....	17
2.1.4. Sellado.....	21
2.2. Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto.....	21
2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto.....	23
2.3.1. Prospectos de crecimiento en la industria aeronáutica.....	23
2.3.2. Prospectos de crecimiento en la industria espacial.....	24
2.3.3. La ventaja competitiva en Costa Rica.....	25

2.3.4. El Clúster.....	26
2.4. Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes	27
Capítulo 3. Marco metodológico.....	29
3.1. Metodología para la definición del problema.....	30
3.2. Metodología para la medición y respaldo cualitativo del proyecto	30
3.3. Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio.....	32
3.4. Metodología para la implementación del proyecto	33
3.5. Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados	34
Capítulo 4. Línea base y análisis de causas	36
4.1. Traducción de la norma y primera evaluación de lista de chequeo.....	37
4.2. Segunda evaluación de la lista de chequeo	40
4.3. Análisis de datos sobre procesos.....	45
4.3.1. Conclusiones de la situación actual	50
Capítulo 5. Diseño e implementación de la solución	51
5.1. Propuestas.....	52
5.1.1. Propuesta 1. Diseño y rediseño de documentos de la empresa y su validación y rediseño del proceso productivo en la empresa	53
5.1.2. Propuesta 2. Determinación de variables para ecualización de temperatura de tanques	57

5.1.3. Propuesta 3. Compra de equipo nuevo	59
5.1.4. Propuesta 4. Calibración	60
5.2. Plan de implementación	61
5.3. Costo beneficio del proyecto	66
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.....	69
6.1. Conclusiones.....	70
6.2. Recomendaciones	71
Capítulo 7. Anexos	73
7.1. Anexo 1. Lista de chequeo NADCAP AC 7108/8	74
7.2. Anexo 2. Formulario Proyectos de Mejora	87
7.3. Anexo 3. Solicitud de confidencialidad de Anodisa	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama organizacional de Anodizados Internacionales S. A.....	5
Figura 2. Etapas del proceso de anodizado.	6
Figura 3. Diagrama del proceso de acreditación y reacreditación.....	16
Figura 4. Proceso completo de anodizado	18
Figura 5. Ciclo de mejora continua con base en metodología DMAIC	22
Figura 6. Producción de aeronaves comerciales (2009 a 2035 proyectado).....	23
Figura 7. Lanzamientos orbitales mundiales.	24
Figura 8. Diagrama Gantt de las primeras tres etapas del proyecto. febrero-agosto, año 2018.	33
Figura 9. Etapas de implementación de las propuestas de mejora	33
Figura 10. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 14/4/2018	38
Figura 11. Diagrama Ishikawa (espina de pescado) con las principales limitantes identificadas en la primera aplicación de la lista de chequeo.	39
Figura 12. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 26/5/2018	41
Figura 13. Diagrama de Pareto de los grupos de acciones correctivas	43
Figura 14. Diagrama Ishikawa (espina de pescado) con las principales limitantes identificadas en la segunda aplicación de la lista de chequeo.	45
Figura 15. Flujo del anodizado según diagnóstico realizado	46
Figura 16. Porcentaje de órdenes y de piezas con reproceso, por año.	47
Figura 17. Diagrama Pareto de las órdenes con reproceso según defecto detectado,	

periodo 2015 a julio 2018. 48

Figura 18. Porcentaje de órdenes con reproceso según los cuatro tipos de defectos predominantes..... 49

Figura 19. Porcentaje de documentos diseñados, rediseñados o iguales, luego del desarrollo de la propuesta..... 55

Figura 20. Flujo del anodizado con las propuestas de rediseño del proceso 56

Figura 21. Diagrama de flujo del experimento para determinar variables en tanques de anodizado..... 59

Figura 22. Diagrama Gantt para implementación de la propuesta y acreditación NADCAP 63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de variación interanual de las ventas:	6
Cuadro 2. Cómo minimizar la resistencia de cada elemento del circuito.	20
Cuadro 3. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 14/4/2018	37
Cuadro 4. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 26/5/2018	40
Cuadro 5. 21 acciones correctivas identificadas para solucionar las 29 NC, por clasificación Ishikawa	41
Cuadro 6. Acciones correctivas agrupadas según tipo	43
Cuadro 7. Resumen de propuestas de mejora	52
Cuadro 8. Documentos propuestos nuevos y modificados del Sistema de Gestión de Calidad de Anodisa	54
Cuadro 9. Cotización de equipos nuevos y calibraciones anuales requeridas para la acreditación.	60
Cuadro 10. Cotización de equipos nuevos y calibraciones anuales requeridas para la acreditación.	61
Cuadro 11. Acciones correctivas a implantar, por etapa	62
Cuadro 12. Nivel de implementación de las propuestas desarrolladas	66
Cuadro 13. Costos aproximados para el desarrollo e implementación de la propuesta y la acreditación NADCAP. Las actividades resaltadas indican un costo que impacta el flujo de caja.	67
Cuadro 14. Resumen de impactos, actividades pendientes y costo de las propuestas.	

..... 68

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

AC: Audit Criteria

CRAC: Costa Rica Aerospace Cluster

NADCAP: National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program

PRI: Performance Review Institute

SAE: Society of Automotive Engineers

RESUMEN

El presente proyecto se trata del diagnóstico y desarrollo de las mejoras necesarias para obtener la acreditación de Nadcap que, a la vez, tendrá un impacto positivo en la calidad y eficiencia de los procesos.

La empresa seleccionada para realizar el proyecto fue Anodizados Internacionales S. A., localizada en Ochomogo, provincia de Cartago, Costa Rica y que se dedica a vender el servicio de anodizado.

La finalidad del proyecto es habilitar a la empresa para que esta tenga acceso a la industria aeroespacial nacional e internacional. No existe ninguna empresa en territorio costarricense que cuente con la acreditación mencionada, por lo que el proyecto genera valor, tanto a la empresa como al Clúster Aeroespacial de Costa Rica.

En la definición de la línea base, se aplicó la lista de chequeo correspondiente a la norma, se identificó la no conformidad de un 35 % de los criterios auditables.

Se rediseñó el proceso productivo, con un total de 21 acciones correctivas enfocadas en la resolución de las no conformidades. Se generaron los insumos para que la empresa logre la acreditación a corto plazo, que comprenden modificaciones y creaciones de documentos que actualizaron el sistema de gestión de calidad de la compañía, se modificó un 9,5 % del mismo.

Además, de ser necesarias para obtener la acreditación, las mejoras propuestas servirán para reducir la variabilidad de los procesos de producción, los

indicadores de reprocesos y mejorar la calidad del producto final.

El inicio de la implementación de las propuestas dependerá de la empresa. Se elaboró un plan de implementación en dos etapas, la primera etapa es la que contiene acciones correctivas por las cuales la empresa se vería beneficiada inmediatamente.

Las utilidades generadas por la producción aeroespacial deberán ser mayores a 7170 dólares anualmente para que la relación beneficio/costo sea mayor a 1. Además, la inversión inicial será de 8240 dólares.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El presente trabajo de investigación comprende una exploración de los criterios de auditoría de la norma NADCAP AC 7108/8 para anodizado, así como la evaluación de estos criterios en una empresa local, además de la propuesta de mejora al sistema de gestión de calidad existente, que se requiere para alcanzar la acreditación en esta norma en un futuro cercano y así fortalecer la cultura de calidad y mejora continua en la empresa.

La idea del proyecto surgió de una necesidad, tanto de la empresa como de la industria aeroespacial en Costa Rica, para obtener la acreditación en la norma antes mencionada. A pesar de que la empresa cuenta con una certificación ISO 9001:2015, esta, por sí sola, no es suficiente. Las normas NADCAP son específicas para la industria aeroespacial, se requieren altos niveles de trazabilidad, estandarización en procesos y producción de piezas, así como niveles reducidos de variabilidad y se tienen requisitos administrativos muy estrictos.

Con la acreditación, la empresa espera acceder al mercado internacional de la industria aeroespacial y, de esta forma, incrementar sus utilidades, así como aportar un servicio de alta demanda en la nación, que ninguna otra empresa local tiene capacidad de suplir.

El Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, creado gracias al esfuerzo de certificación ISO 9001, es la base de la mejora continua. En el desarrollo del proyecto se realizaron diferentes adiciones y modificaciones a documentos existentes en este sistema, de forma que se comience a cumplir con los requisitos

exigidos por NADCAP. El detalle de estas mejoras se presenta en el capítulo quinto.

El proyecto responde a la línea de investigación Calidad, de la Escuela de Ingeniería Industrial, debido a su relación con normas internacionales.

1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Anodizados Internacionales S. A. se fundó en el año 2008 “ante la necesidad de suplir el servicio de anodizado a las industrias emergentes en el país, en las diferentes áreas de manufactura y producción de partes de aluminio” (Anodizados Internacionales S. A., s. f., s. p.).

Sus instalaciones están ubicadas en el Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica. Sus coordenadas geográficas son 9,892348°N, -83,942354°O.

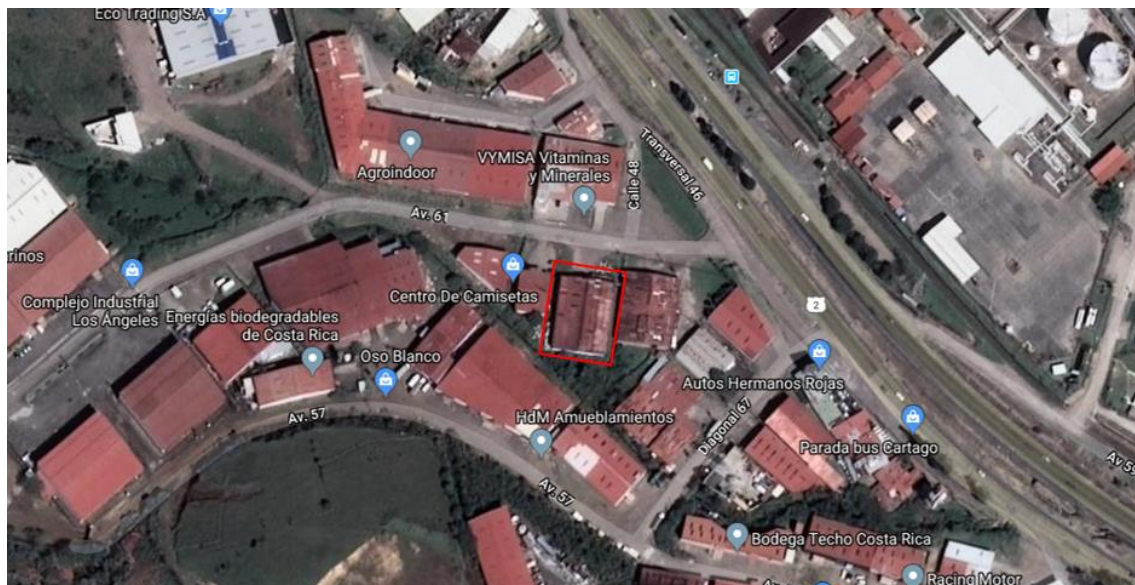


Ilustración 1. Imagen aérea de la planta de Anodisa (encuadre en rojo).

Fuente: Google Maps, 2018

Sus servicios se enfocan satisfacer las necesidades de distintos sectores como la Industria Metal - mecánica, el Transporte, el de Electricidad, la industria

automotriz, aeroespacial entre otras.

A continuación, se citan los aspectos estratégicos de la empresa, según Anodizados Internacionales S. A. (2018):

1.2.1. Misión

Brindar servicios de recubrimiento con el más alto nivel de compromiso, con personal altamente calificado para las partes mecánicas de la industria Aeroespacial, Mecánica, Electrónica y Médica.

1.2.2. Visión

Ser un socio estratégico para nuestros clientes en el servicio de recubrimiento, manteniendo la calidad de nuestro proceso y conservando adecuados estándares de crecimiento y rentabilidad.

1.2.3. Valores

Honestidad: actuamos con base en principios éticos, siendo íntegros, veraces y justos.

Puntualidad: respeto por el tiempo de los demás, cumpliendo con los plazos establecidos.

Perseverancia: constancia, dedicación y firmeza en la realización de propósitos y metas.

1.2.4. Política de la Calidad

Brindar servicios de recubrimiento en metales cumpliendo los requisitos legales y satisfaciendo las expectativas de nuestros clientes a través de la mejora continua del SGC.

1.2.5. Estructura organizacional

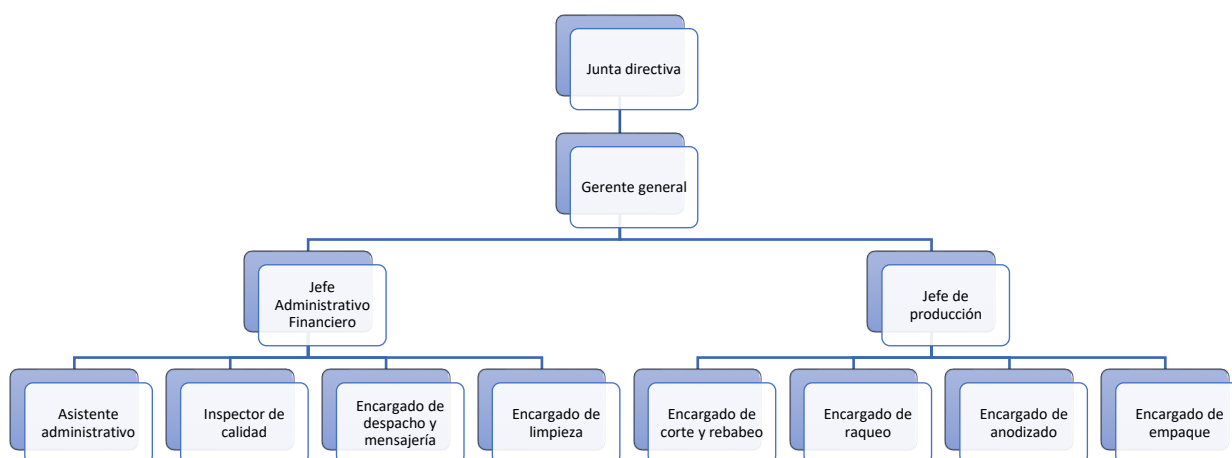


Figura 1. Organigrama organizacional de Anodizados Internacionales S. A.

Fuente: Anodizados Internacionales S. A., 2017

Al momento de realizar este trabajo, la empresa contaba con 14 empleados, distribuidos en los puestos, según la figura anterior. Existen cuatro personas en el puesto *Encargado de anodizado* y una persona en cada uno de los otros puestos.

1.2.6. Productos ofrecidos

Los productos ofrecidos por la empresa son:

- Anodizado Sulfúrico, en diferentes colores.
- Anodizado duro, en diferentes colores.
- Iridizado (revestimiento con cromo).

1.2.7. Datos de producción históricos

Cuadro 1. Porcentaje de variación interanual de las ventas:

Año	Ventas (\$)	Variación interanual (%)
2014	517016	-
2015	450910	-12,8 %
2016	417657	-7,4 %
2017	534379	+28 %

Fuente: Anodizados Internacionales S. A., 2014-2017.

Los datos de ventas se extrajeron de los informes financieros de la empresa, elaborados en el periodo 2014 a 2017.

1.2.8. Descripción general del proceso productivo

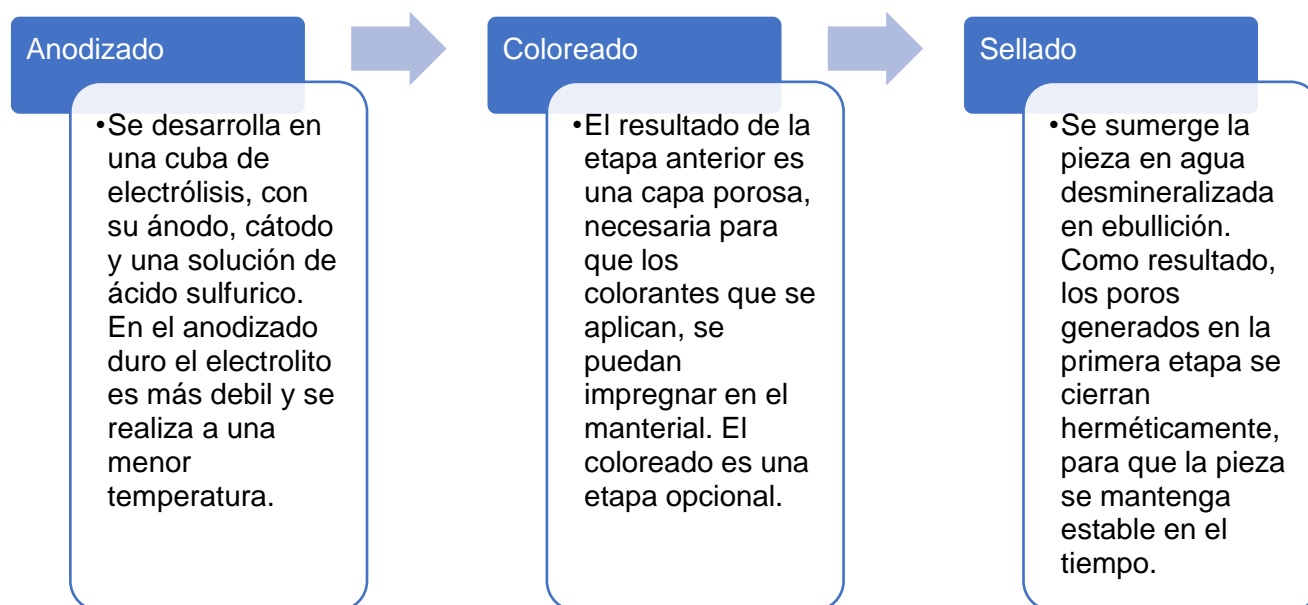


Figura 2. Etapas del proceso de anodizado.

Fuente: elaboración propia, con base en Anodizados Internacionales S. A.

1.2.9. Antecedentes del contexto de la empresa

En 2016 se creó el Clúster Aeroespacial de Costa Rica, lo que evidencia una estrategia nacional para acceder a dicho mercado. Anodisa forma parte de este Clúster, es una de las tres empresas que proveen el servicio de anodizado en Costa

Rica. Ninguna empresa nacional cuenta con la acreditación NADCAP para anodizado (Costa Rica Aerospace Cluster, 2018), lo que incrementa los costos a empresas de mecánica de precisión, que deben adquirir este servicio en el extranjero.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. La idea del problema

Existe una carencia en el ámbito nacional, de servicio de anodizado con acreditación NADCAP, a pesar de existe demanda en el mercado local. El clúster aeroespacial de Costa Rica (Costa Rica Aerospace Cluster, 2018), se compone de diferentes empresas que requieren del servicio local de anodizado, de otra forma deben incurrir en costos de logística, transporte ida y vuelta de las piezas a otros países en los que sí se cuente con este servicio, con el consecuente pago de impuestos de importación.

Esta demanda se evidencia en un estudio de la firma Deloitte (2017), en el que se estima que el crecimiento de la industria aeroespacial en el mundo será de 0,3 % para el subsector comercial y de 3,2 % para el subsector militar. Se anticipa que, para la próxima década, se incrementarán en un 29,3 % los niveles de producción anuales de aeronaves comerciales.

La industria aeroespacial tiene como requisito para sus proveedores el cumplimiento de las normas NADCAP. En Costa Rica no existe un proveedor de anodizado que esté acreditado por NADCAP. Por lo tanto, las empresas metalmecánicas de Costa Rica deben comprar ese servicio en el extranjero para acceder a la industria aeroespacial. Comprar servicios en el extranjero implica

mayores costos por transporte y aranceles, los cuales se trasladan al producto final. En consecuencia, los productos que venden las empresas de Costa Rica a la industria aeroespacial tienen un precio menos competitivo del que podrían tener si se contara con un servicio de anodizado acreditado por NADCAP en el ámbito local.

De esta forma, se demuestra que existe una demanda de este servicio en el país, lo cual fue confirmado por comunicaciones verbales de diversos clientes a la empresa Anodizados Internacionales S. A. Si existe una demanda latente que no se cubre, se pierden clientes y ventas potenciales, las utilidades no percibidas son el costo de no obtener la acreditación. Si el costo de obtener la acreditación es menor al costo de no obtener la acreditación, la empresa pierde utilidades.

Este razonamiento deductivo llega al mismo resultado que el Plan Estratégico de la empresa, el cual, en su primera versión, establece como proyecto de mejora a ejecutar “el proceso de análisis e implementación de la norma NADCAP” (Anodizados Internacionales S. A., 2017, s. p.), para continuar una tendencia de diversificación en la clientela, que inició con la incorporación de clientes de la industria médica y que ha dado buenos resultados según se ve en el Cuadro 1.

1.3.2. Definición del problema

Se determina como problema para la empresa la pérdida de clientes potenciales, que requieren el servicio de anodizado con acreditación NADCAP, lo que se traduce en menor cantidad de ventas.

1.3.3. Justificación

El registro de clientes nuevos se inició el 7/7/2016. En un año se registraron 5 clientes nuevos y un total de 61 clientes activos (los que realizaron alguna compra) desde el 1/1/2016. En otras palabras, en un año se incrementó un 9 % el número de clientes. No hay una meta establecida para este indicador, sin embargo, a criterio de la jefatura administrativa financiera, este valor es insuficiente.

En el periodo 2014 a 2016, el dato de ventas totales se redujo en casi un 20 % (ver Cuadro 1).

Si se llevara a cabo la propuesta y la empresa logra certificarse, se cumpliría con los requerimientos del mercado aeroespacial, lo que incrementaría la captación de nuevos clientes, las ventas totales de la empresa y sus utilidades netas. Además, debido al costo extra en el que deben incurrir las empresas de mecánica de precisión al adquirir el servicio de anodizado en el extranjero, cuando se incluye como requisito la acreditación NADCAP, las otras empresas del clúster se verían beneficiadas, por lo tanto, este trabajo tendría un impacto en toda la cadena productiva y afectaría positivamente la economía nacional.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar el rediseño del proceso de anodizado de la empresa Anodizados Internacionales S. A., mediante una comparación del estado actual y de los requisitos de la norma NADCAP, para el acceso al mercado

aeroespacial.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el nivel de cumplimiento de los criterios auditables del proceso de anodizado según la norma NADCAP AC 7108/8.
- Establecer las oportunidades de mejora del proceso de anodizado para la acreditación con base en la norma NADCAP AC 7108/8.
- Realizar un análisis costo-beneficio de la implementación de las acciones de mejora requeridas para que se solventen las no conformidades identificadas.
- Determinar las acciones necesarias que aseguren la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

El proyecto fue desarrollado desde enero del 2018 a agosto del 2018.

Se ubicó en las instalaciones de Anodisa, Cartago, Costa Rica.

La única lista de criterios NADCAP analizada en este proyecto es la AC 7108/8, para el proceso de anodizado, incluso cuando la empresa podría necesitar, además de la acreditación en otras normas.

La solución a las no conformidades que requieren inversión en equipos o

maquinaria, queda fuera del alcance en la implementación de este proyecto.

1.5.2. Limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto, la empresa realizó el proceso de traslado a una nueva planta en Cartago, por lo que el trabajo inició tomando en cuenta el diseño de una planta inexistente y que luego se tuvo que verificar y ajustar.

El texto oficial de la norma solo está disponible en idioma inglés, lo que incrementó la dificultad en su interpretación.

Algunas de las propuestas de mejora no serán implementadas por la empresa hasta el momento de comenzar a procesar órdenes de compra para la industria aeroespacial, por lo que no todo lo propuesto se podrá implantar durante el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA

Obtener la acreditación NADCAP no tiene solo el fin de cumplir un requisito de la industria e incrementar las ventas. El proceso necesario para preparar a la empresa, previo a acreditarse, involucra actividades e implanta herramientas que mejoran la calidad del producto final, reducen reprocesos y otros costos de producción.

La globalización ha incrementado la posibilidad de las empresas de encontrar diferentes proveedores, los consumidores finales tienen una gran variedad de oferta y todos se encuentran en una constante competencia.

Un taller de precisión ubicado en Alajuela, Costa Rica, puede contratar el servicio de anodizado a empresas en México, China o bien en San José, la capital de su propio país, por mencionar algunas de sus opciones. A todas estas puede encontrarlas y contactarlas por Internet, prácticamente al instante, obtener cotizaciones y especificaciones. Todo esto, hace un par de décadas, no era tan simple y, previo a la era globalizada y la existencia de telecomunicaciones, era inimaginable.

El incremento en la cantidad de competidores genera una gran presión a las empresas, empuja los precios a la baja y la calidad al alza. Por todo esto, en la actualidad, la calidad se ve como una ventaja competitiva y una condición necesaria para mantenerse en el mercado (Gutiérrez Pulido, 2010).

La definición de calidad ha evolucionado a través del tiempo, actualmente se enfoca en reducir defectos con una meta ideal de alcanzar un nivel de 3,4 defectos

por millón y, a la vez, reducir el tiempo de ciclo. Todo esto se logra mediante planeación y gestión estratégica y mejora continua de sistemas y tiene el fin de atraer los clientes a la empresa, gracias a su buen desempeño (Gutiérrez Pulido, 2010).

Obtener la acreditación NADCAP, implica que la entidad denominada Performance Review Institute (PRI) otorga el reconocimiento “de que toda la documentación necesaria y la implementación de los requisitos exigidos se han realizado de manera correcta” (Gómez Bottossis, 2007, s. p.). Por lo tanto, en el caso de Anodisa, su proceso productivo estaría validado para la aplicación del anodizado a piezas de aluminio, que son manufacturadas por los clientes de la empresa y que podrían ser vendidas a otros miembros de la industria aeroespacial.

Una acreditación permite a cualquier empresa garantizar ciertos requisitos mínimos de calidad que el cliente puede requerir, así como su mejora continua, esto incrementa su competitividad, su cartera de clientes, sus mercados e industrias meta. Además, acredita que la forma de trabajar de la empresa cumple con un estándar internacional, lo que implica que sus productos y servicios son comparables con los de cualquier otra empresa que también cuente con dicha acreditación.

La estandarización o normalización es el proceso de ajustarse a normas definidas, alineando la forma de trabajar de empresas homólogas.

2.1.1. Orígenes de la industria aeroespacial

La industria aeroespacial, actualmente, comprende todas las aeronaves que viajan sobre el suelo (por ejemplo, helicópteros y aviones), así como los satélites y naves espaciales tripuladas y no tripuladas. A continuación, se detalla el origen de

esta industria.

A inicios del siglo XX, con el comienzo de la industria automovilística, los ingenieros de la época vieron la necesidad de organizarse. Los métodos de solución de diferentes problemas que surgían en las compañías fabricantes de vehículos, así como las piezas y partes, debían tener cierto nivel de compatibilidad entre ellas. Así surgió, en 1905, en Estados Unidos, la Sociedad de Ingenieros Automovilísticos.

En esta, los ingenieros tenían la posibilidad de colaborar entre ellos para el bien común de su industria. Publicaban estudios y diarios técnicos disponibles aún en la actualidad.

Procesos similares ocurrieron en las industrias de tractores, náuticas y aeronáuticas. En 1916, todas estas industrias se unieron para formar la Sociedad de Ingenieros Automotores (SAE por sus siglas en inglés, mismas siglas que la Sociedad de Ingenieros Automovilísticos) (SAE International, 2018).

2.1.2. NADCAP

En 1990, SAE ya era una organización internacional con miles de afiliados y fundó PRI, el Performance Review Institute, una asociación sin fines de lucro. Este instituto fue creado para administrar NADCAP, el programa de acreditación de procesos especiales y productos para la industria aeroespacial. NADCAP fue desarrollado por el gobierno de Estados Unidos en conjunto con la industria, para mejorar continuamente la calidad y reducir los costos (PRI, 2018).

Antes de la existencia de NADCAP, los proveedores de la industria aeroespacial eran auditados por las diferentes compañías consumidoras del sector,

en procesos que eran iguales o muy similares. Estas auditorías eran, en consecuencia, una duplicidad de esfuerzos que incrementaba los costos y la carga laboral sin generar valor agregado, tanto para consumidores como para proveedores dentro de la industria (PRI, 2018).

El proceso de acreditación de NADCAP se compone de las siguientes etapas:

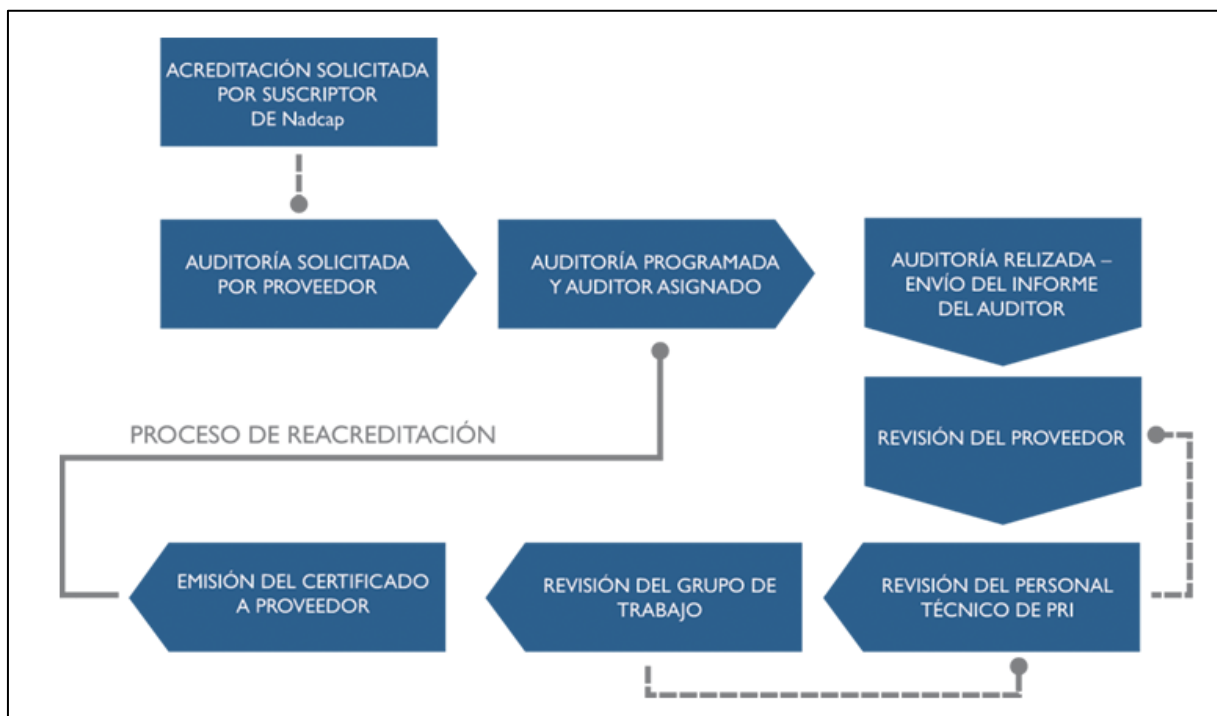


Figura 3. Diagrama del proceso de acreditación y reacreditación.

Fuente: PRI, 2018.

Adicionalmente, previo al inicio de la auditoría formal, se recomienda realizar una auditoría interna para verificar el cumplimiento de las listas de chequeo.

Luego de realizar exitosamente la auditoría interna, a solicitud del interesado, el PRI calendariza la auditoría formal y asigna un auditor aprobado, quien conducirá la auditoría contra un estándar aprobado por la industria y una lista de chequeo también aprobada por la industria. Al final de la auditoría, cualquier no conformidad

se levanta y se reporta. El PRI administra el cierre de las no conformidades y, cuando estas están completadas, presenta el paquete completo de la auditoría a un grupo de trabajo (miembros de la industria) que lo revisa y realiza una votación sobre su aprobación. Para que la acreditación se realice, todas las no conformidades deben estar cerradas (Boeing Suppliers, 2018).

En NADCAP existen numerosos *procesos especiales* sujetos a auditoría, los cuales, a la vez, se subdividen en diferentes procesos. Para cada uno de estos, existe una lista de chequeo particular, la cual debe cumplirse por completo para obtener la acreditación.

Uno de los procesos especiales se denomina *Procesos químicos*, en el cual se encuentra el proceso de Anodizado. La lista de chequeo para anodizado tiene código SAE AC7108/8. Adicionalmente, otro requisito para que la empresa se acredite en AC7108/8 es el cumplimiento de los requisitos de la norma AC7004. Esta norma es sobre el sistema de gestión de calidad y es una adaptación de la norma ISO 9001, a la industria aeroespacial¹.

2.1.3. Anodizado

Según el Aluminum Anodizers Council (2018), el anodizado es un proceso electroquímico que transforma la superficie del metal para que tenga un acabado decorativo, resistente a la corrosión y durable, mediante una oxidación anódica. El metal ideal para el anodizado es el aluminio, aunque otros metales no ferrosos como

¹ Debido a que la empresa ya cuenta con la certificación ISO 9001:2015, los requisitos de la AC7004 deberían estar prácticamente cubiertos en su totalidad o requerir de modificaciones menores. Este trabajo no incluye como alcance el análisis de dicha norma, sin embargo, la empresa deberá tener dicho requisito en cuenta, antes de solicitar la auditoría NADCAP.

el magnesio y el titanio, también pueden anodizarse.

La estructura de óxido anodizado se origina del sustrato de aluminio y se compone completamente de óxido de aluminio, este no se aplica a la superficie como se haría con pintura o enchapado, sino que se integra completamente con la capa inferior de aluminio, por lo que no se puede pelar o astillar. Tiene una estructura porosa muy ordenada, que puede permitir procesos secundarios como aplicar color y sellar, según la densidad de estos poros.

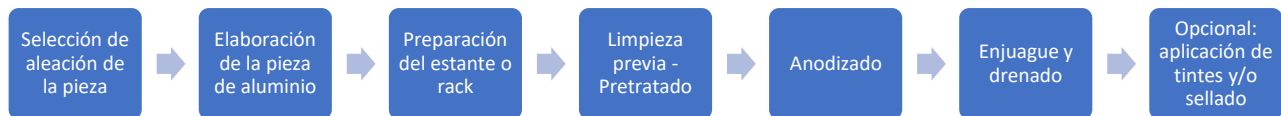


Figura 4. Proceso completo de anodizado

Fuente: elaboración propia.

Según Runge (2018), las aleaciones de aluminio forjado no presentan casi ninguna diferencia en su tasa de corrosión, lo cual es una de las razones del éxito del anodizado. En aleaciones de aluminio fundidas, el proceso de anodizado es más complejo, debido a que los elementos adicionales al aluminio dictan la forma en que el sustrato se anodiza. Por esta razón, durante el diseño de la pieza, es importante tener en cuenta la aleación que se utilizará: una aleación incorrecta podría incumplir los requisitos ingenieriles del producto final.

Los estantes o *racks* sirven principalmente para transportar las piezas que se anodizarán, dentro y fuera del electrolito. Deben diseñarse para sostener adecuadamente las piezas durante todo el proceso, lo cual puede incluir movimientos entre tanques, vibraciones fuertes, enjuagues y drenados. También debe permitir la conductividad eléctrica en el medio.

Evidentemente, todo esto se debe lograr sin dañar las piezas, aunque siempre queda una marca en el punto de contacto que no se anodiza entre la pieza y el *rack*, este punto debe estar previsto por el cliente o establecido previo al proceso.

Normalmente, el material de los *racks* es aluminio o titanio. Los de aluminio tienen el inconveniente de que se anodizan junto con las piezas, por lo que su vida útil es menor, sirven para producciones de bajo volumen. Los de titanio no se anodizan con las corrientes utilizadas en el procesamiento de aluminio, sin embargo, pueden reaccionar a diferentes ácidos dentro de la solución, son mejores para producciones de alto volumen (Runge, 2018).

Previo a anodizar, las piezas deben pretratarse. Esto implica limpiarlas y enjuagarlas para eliminar cualquier sedimento que podría interferir con el proceso de oxidación y que podrían empeorar el aspecto y acabado final (Runge, 2018).

El anodizado se realiza al sumergir la pieza de aluminio en un baño de electrolito ácido y pasar una corriente eléctrica por este medio. Un cátodo se monta dentro del tanque de anodizado y la pieza de aluminio actúa como ánodo. De esta forma, iones de oxígeno se liberan del electrolito para combinarse con los átomos de aluminio que se encuentran en la superficie de la pieza a anodizarse. Por lo tanto, el anodizado es un proceso de oxidación altamente controlado, una mejora de un fenómeno que ocurre naturalmente (Aluminum Anodizers Council, 2018).

Para obtener un óxido de aluminio uniforme, continuo y con la menor cantidad de defectos, la resistencia de cada elemento del circuito debe minimizarse (ver Cuadro 2). Es importante aclarar que la tasa de producción del óxido anódico de

aluminio está relacionada con la densidad de corriente, que es la que mueve los iones y electrones. La reacción sigue la ley de Ohm y se puede simplificar como **$V=iR$, voltaje=corriente x resistencia.**

Según Chesterfield (2012), hay dos formas básicas de manejar el proceso de anodizado:

1. Voltaje constante: funciona bien cuando se realiza en lotes de anodizado tipo II que no demorarán mucho, 30 minutos o menos. Normalmente, el grosor en este tipo de anodizados es de 0,7 mil² o menos. En estos casos la única forma de saber el tiempo total del proceso es con base en experiencia previa, es decir, a prueba y error.
2. Corriente constante: debido a que es la corriente la que genera la capa anodizada, al mantener la corriente constante, se puede conocer con precisión el tiempo necesario para lograr el grosor requerido del anodizado. De esta forma, se incrementa el control sobre el proceso, también se reduce el tiempo total del mismo. Sin embargo, con este método es necesario conocer el área superficial de la pieza a anodizar, lo cual puede complicarse en piezas muy irregulares.

Cuadro 2. Cómo minimizar la resistencia de cada elemento del circuito.

Elemento del circuito	Cómo minimizar la resistencia
Fuente de poder	Con un buen contacto entre la fuente y el ánodo y del cátodo a tierra
Cátodo	No debe disolverse en el electrolito. Debe recibir mantenimiento constante.
Electrolito	Pueden agregarse aditivos químicos

Fuente: elaboración propia. con datos de Runge, (2018).

² 1 mil equivale a una milésima de pulgada, o 0,0254 mm o 25,4 μ (micrómetros)

Posterior al anodizado, las piezas se deben enjuagar. Runge (2018), indica que esta es una etapa muy importante del proceso, debido a que en este momento se debe detener completamente la oxidación. Se remueve la solución que ocasiona la reacción química, se cambia la temperatura y el pH en la superficie. Cada pieza se debe enjuagar y drenar de dos a tres veces. La temperatura y pH de los tanques de enjuague no es igual, el primero es ligeramente ácido y tibio y el segundo es frío y con pH neutro. Si no existe espacio en la planta para un tercer tanque, una buena práctica es rociar con agua des ionizada (Runge, 2018).

2.1.4. Sellado

El paso final, en cualquier procesamiento anódico, es el sellado. Esta actividad se realiza para estabilizar el óxido de aluminio anódico. Es más que *tapar los poros* de la capa de óxido, sellar es la disolución reductiva de la estructura de óxido.

El sellado se puede realizar en diferentes medios químicos, como agua caliente, acetato de nickel o fluoruro de nickel. El pH debe ser ligeramente ácido (5,5-6) y a una temperatura de 95 °C. Runge (2018), explica detalladamente los procesos y reacciones químicas de esta y otras etapas del anodizado.

2.2. MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se realizó utilizando la metodología DMAIC. Este es el acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar (*improve*), Controlar. Corresponde a las 5 etapas de un ciclo de mejora continua y es una de las metodologías más utilizadas en

proyectos Six Sigma.

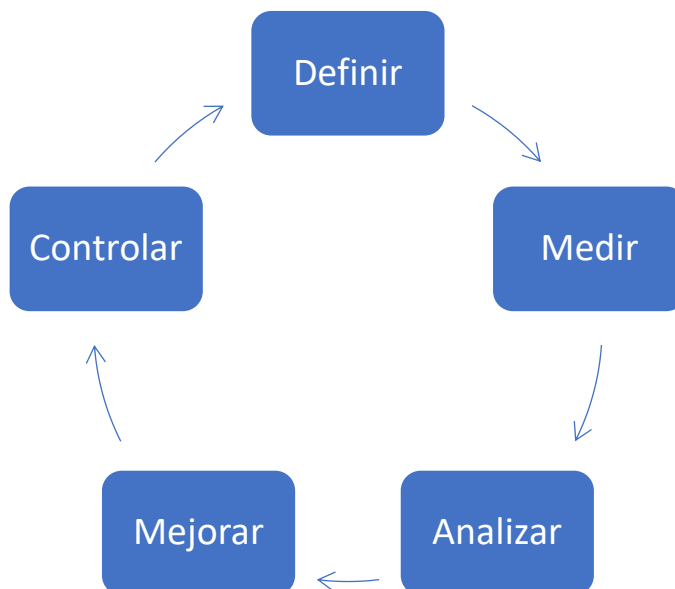


Figura 5. Ciclo de mejora continua con base en metodología DMAIC

Fuente: elaboración propia.

Pyzdek y Keller (2009), definen brevemente cada una de las 5 etapas DMAIC:

- Definir: En esta etapa se definen las metas de mejora del sistema actual.
- Medir: Se debe medir el estado inicial del sistema.
- Analizar: Se analiza el sistema para identificar formas de eliminar la brecha entre el estado inicial y la meta deseada.
- Mejorar: Se implantan las mejoras diseñadas.
- Controlar: Se verifica que las metas establecidas realmente se alcancen (s. p).

Debido a que es un ciclo de mejora continua, luego de controlar, debe iniciar nuevamente la etapa de definir, para eventualmente, según la teoría, llegar a un nivel de variabilidad de 6 Sigma.

2.3. MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

La demanda de la industria aeroespacial es prácticamente en un 100 %, externa al país, debido a que en Costa Rica no existen empresas fabricantes de aviones, satélites o naves espaciales.

2.3.1. Prospectos de crecimiento en la industria aeronáutica

En promedio, la demanda anual de producción de grandes aviones comerciales para pasajeros, se ha incrementado desde 1981. Deloitte, (2017) estima que para 2018 la producción sea de 1452 unidades y que para el año 2035 sea de 2206.

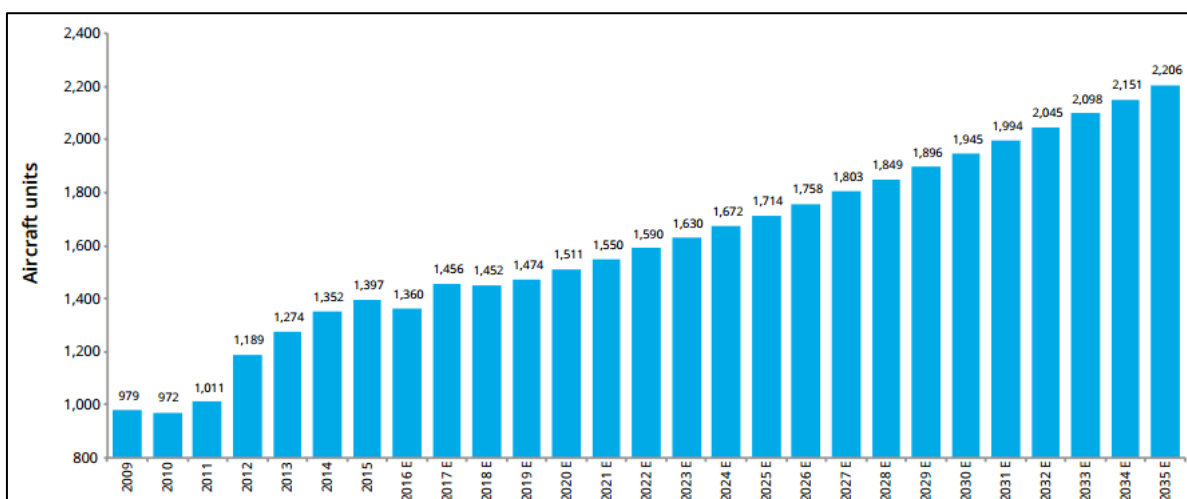


Figura 6. Producción de aeronaves comerciales (2009 a 2035 proyectado)

Fuente: Deloitte (2017)

Además, del subsector comercial, el subsector militar también es una fuente de demanda de productos en la industria aeroespacial. Del 2008 al 2015, el mundo

gastó en promedio 1744,75 billones de dólares al año, en sus ejércitos (Deloitte, 2017). Aunque la tendencia en ese periodo fue estable, se espera que para 2017, el crecimiento en el gasto en defensa estadounidense vuelva a incrementarse en cerca de un 3,2 %, debido a los cambios políticos y el cambio de gobierno en dicho país.

2.3.2. Prospectos de crecimiento en la industria espacial

Desde 2005, la cantidad de lanzamientos orbitales ha visto una tendencia al alza, luego de un constante declive iniciado en la década de 1990.

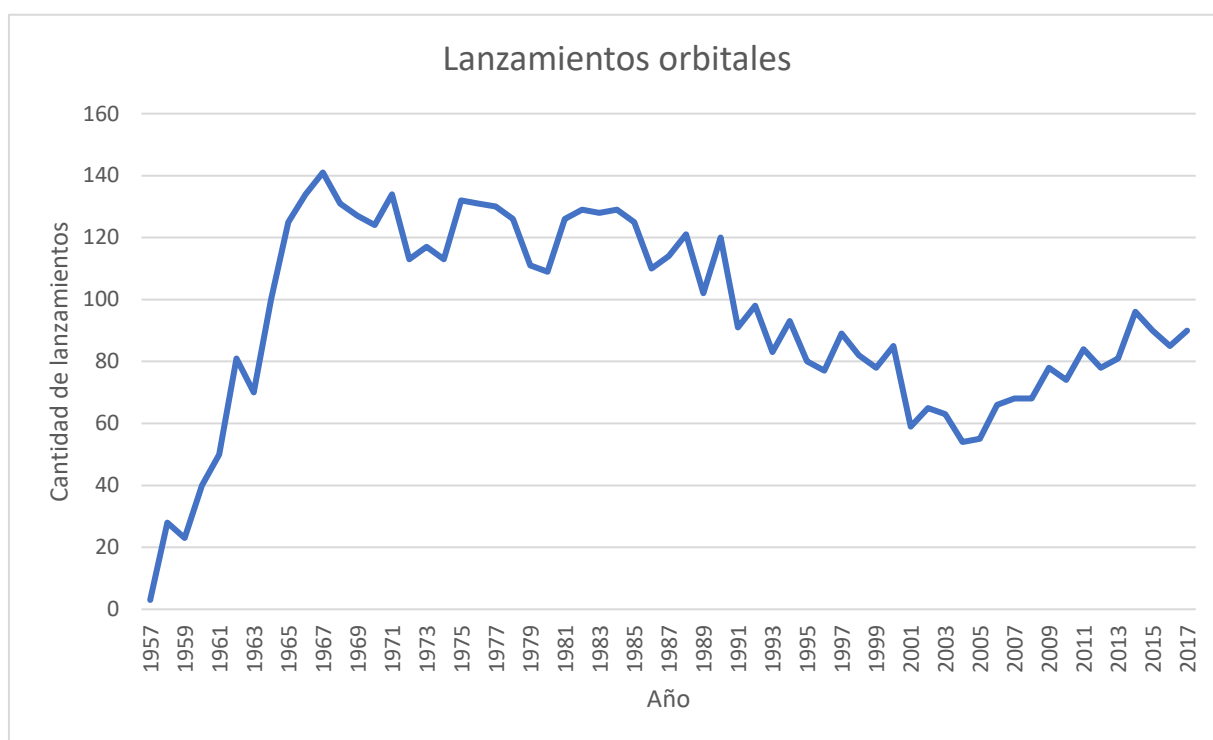


Figura 7. Lanzamientos orbitales mundiales.

Fuente: elaboración propia. con datos de Kyle, 2017

La primera *carrera espacial* entre Estados Unidos y la Unión Soviética, finalizó aproximadamente en 1975. Gracias a esta, la humanidad expandió sus horizontes hacia fuera del planeta Tierra. Los datos sugieren que una nueva carrera espacial ya ha comenzado, esta vez se incluyen contrincantes del sector privado, principalmente

Space X de Elon Musk y Blue Origin de Jeff Bezos. Ambas empresas desarrollan la tecnología necesaria para reducir el costo de los lanzamientos.

Space X ya ha desarrollado la tecnología requerida para reutilizar los cohetes lo que reduce significativamente sus costos de operación y lanzamiento, lo que le permitió ganar las concesiones para los próximos lanzamientos de reabasto de la Estación Espacial Internacional, además de numerosos lanzamientos satelitales tanto civiles como militares. Blue Origin va por esa misma línea, aunque continúa en fase de pruebas. Por estas razones, se prevé un gran incremento en los próximos años.

2.3.3. La ventaja competitiva en Costa Rica

Durante las últimas décadas, Costa Rica ha migrado de una economía productora y exportadora de bienes agrícolas como el café, azúcar, piña y aceite de palma, a una economía con mayor peso en los servicios turísticos y empresariales. Además, desde la llegada de Intel en el año 1997, se incrementó la preponderancia de la industria manufacturera de alto valor agregado y, en 2016, de los 10 productos más exportados, según valor en dólares, 6 son insumos destinados a la industria médica (INEC, 2017).

La industria médica, por su naturaleza, requiere de un estándar de calidad sumamente elevado, de recurso humano altamente especializado y capacitado. El auge de esta industria en el país es un indicador de que en Costa Rica existen las condiciones necesarias para el desarrollo de otras industrias con estos mismos requisitos, como la Industria Aeroespacial.

2.3.4. El Clúster

En 2014, después del evento *Aerospace Meetings Central America*, surgió el interés de diversas empresas costarricenses existentes de trabajar en conjunto mediante la conformación de un consorcio o clúster. Gracias al compromiso de este grupo de empresas, 25 de ellas en un inicio, más el apoyo de instituciones gubernamentales como PROCOMER, CINDE, universidades públicas y otras, en marzo de 2016 se conformó oficialmente el Costa Rica Aerospace Cluster (CRAC).

Antes de la conformación del CRAC, las empresas nacionales ya exportaban más de 1500 millones de dólares anualmente en sectores asociados a la industria aeroespacial (Gobierno CR, 2016), cifra que se espera incrementar con los encadenamientos productivos, sofisticación de procesos y mejoras en la gestión de la calidad, producto del establecimiento del CRAC.

Según Costa Rica Aerospace Cluster (2018), actualmente son 35 empresas nacionales las que conforman el CRAC. De estas, son tres las que venden el servicio de anodizado: Anodizados Internacionales S. A., Microfinish y Olympic Precisión Machining. Las tres están en proceso de completar los requerimientos para obtener las acreditaciones NADCAP AC7108. Solo una empresa del clúster cuenta con la acreditación NADCAP AC7104: Ticoelectronics, sin embargo, esta no vende el servicio de anodizado, ni está acreditado en dicha norma. La AC7104 es una norma general de calidad.

De las tres empresas que venden servicio de anodizado en el CRAC, Olympic y Anodisa cuentan con la certificación en la norma ISO 9001.

Catorce de las empresas del clúster realizan maquinado de piezas, por lo que pueden llegar a ser clientes directos de Anodisa. En la actualidad, estas empresas se ven obligadas a comprar su servicio de anodizado en el extranjero cuando producen para el sector aeroespacial, con lo que incurren en costos extra.

Lo anterior evidencia que existe competencia local, en una carrera por obtener la acreditación NADCAP. El primero en lograrla captará la mayoría de los numerosos clientes potenciales, con lo que incrementará sus ingresos por ventas. El impacto económico de la empresa se conocerá mediante un análisis costo-beneficio, que deberá realizar la empresa en los periodos posteriores a la acreditación. Si los costos de mantener la acreditación son menores al beneficio por el incremento de ventas, el beneficio neto será gracias en parte a este proyecto. En el caso de que lo contrario resulte ser cierto, el impacto será al menos visible en una mejoría de los procesos actuales y una reducción de costos por reprocesos y desechos.

2.4. ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS

SEMEJANTES

En la revisión bibliográfica realizada, no fue posible encontrar trabajos de graduación de ningún sitio geográfico, sobre el proceso de acreditación en la norma NADCAP de anodizado.

Sin embargo, se cuenta con dos trabajos de graduación similares, realizados por Arias y Castro Mora (2013) y Gómez Bottosis (2007).

El trabajo de Arias y Castro (2013), fue realizado como requisito del grado

licenciatura en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Costa Rica. Se titula Rediseño de procesos para fortalecer el sistema de gestión de calidad en la empresa Tico Electronics. Se trata del proceso de certificación de esta empresa, la cual forma parte del CRAC, en la norma AS9100.

Esta norma es una adaptación de la norma ISO 9001, enfocada a la industria aeroespacial y, por lo tanto, más exigente en ciertos aspectos. Gracias a este trabajo, la empresa Tico Electronics fue la primera en alcanzar la certificación en una norma de la industria aeroespacial, lo que, a la vez, fortaleció los requerimientos de la norma ISO 9001 que la empresa tenía certificada previamente y, por otro lado, facilitó la posterior acreditación en la norma NADCAP AC7104.

En el caso de Gómez (2007), fue realizado como requisito de graduación de la carrera Ingeniería Química de la Universidad de Cádiz. Este fue el único trabajo encontrado sobre el proceso de acreditación de una norma NADCAP, en este caso la AC7118 sobre el proceso especial de compuestos. El trabajo indica todos los pasos a seguir y recomendaciones adecuadas, antes, durante y posterior a las auditorías, para la obtención de la acreditación por parte de NADCAP. El alcance del trabajo no incluyó dicha obtención, sino que se limitó a la propuesta de presupuestos y mejoras en los procesos.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para la definición del problema, se utilizó el método deductivo. En este caso, se consideró que dicha metodología era la más adecuada en cuanto a su facilidad de aplicación y su efectividad en los resultados obtenidos.

La facilidad de aplicación se debió a que existen diversos factores y hechos históricos bien documentados y evidenciados tanto a lo interno de la empresa en estudio como a nivel nacional e internacional, que fueron objeto del análisis deductivo y, a la vez, llevaron a una conclusión puntualizada sobre el problema e incluso el posible acercamiento a su solución.

No hubiera sido factible utilizar esta metodología sin la evidente necesidad mutua de factores como la ausencia de empresas de anodizado acreditadas en el país y la creación de un clúster aeroespacial, así como la documentación encontrada en otros factores relacionados. El proceso fue similar a unir las diferentes piezas de un rompecabezas, para develar la situación general.

Luego de dos semanas de revisión bibliográfica externa e interna a la empresa, así como entrevistas con la administradora de Anodisa, formular el análisis deductivo tomó un par de horas.

3.2. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO

CUALITATIVO DEL PROYECTO

La norma NADCAP AC7108/8 se compone de una lista de chequeo, la cual fue el instrumento principal utilizado durante el desarrollo del proyecto. Las preguntas

son de respuesta cerrada (Si/No) y algunas tienen la opción No Aplica (ver anexo 1).

La norma está disponible únicamente en inglés, por lo que la primera etapa fue la traducción de la misma.

Posteriormente, se realizó la revisión de la lista de chequeo traducida. Esta fue analizada en conjunto con el personal de la empresa, para la verificación de la interpretación de la norma.

Como tercera etapa, se aplicó la lista de chequeo en la empresa, se tabularon todas las respuestas en una hoja de cálculo y se determinaron los casos en los que fuera necesaria una interpretación adicional por parte de algún experto. Para que las respuestas fueran positivas, se realizó verificación de la evidencia física del cumplimiento y disponibilidad de todos los aspectos requeridos en la pregunta. En caso de no contar con la evidencia requerida en cada pregunta, se tabuló como negativa.

La cuarta etapa fue la interpretación adicional de las preguntas identificadas en la etapa anterior, se realizó con asistencia de expertos y revisión bibliográfica en foros de consulta en Internet, sitios *web* especializados, libros, investigaciones y artículos.

La quinta etapa fue una segunda aplicación de la lista de chequeo en la empresa, en la cual fuera posible contestar las preguntas en su totalidad.

3.3. METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO

Se realizó una propuesta de mejora a la empresa para que se implementen los requisitos faltantes que se detectaron desde la tercera etapa del diagnóstico citado.

Los estándares de calidad de la industria aeroespacial son sumamente estrictos, por lo que los niveles de exigencia de NADCAP y el hecho de que la lista de chequeo sea de Sí/No, implica que cada requisito debe ser cumplido en un 100 % y que, luego de la resolución de cada no conformidad, no debe quedar ninguna duda de que la respuesta a cada punto de la lista de chequeo sea Sí.

De las no conformidades identificadas, algunas requirieron comprar equipos nuevos y adquirir servicios de calibración de equipos nuevos y existentes. Para estas se elaboró un presupuesto definido mediante la búsqueda de cotizaciones en comercios especializados, que, además, aseguren su calidad metrológica.

Por otro lado, otras de las no conformidades podían resolverse al elaborar instrumentos o modificar actividades de los procesos existentes, lo cual se realizó en el presente trabajo como parte de los resultados y propuesto a la empresa como solución a dichas no conformidades, sobre esto se amplía en la siguiente sección.

Actividad	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Investigación teórica	■	■	■	■	■		
Traducción de la norma			■				
Revisión de la traducción con la empresa			■				
1ra aplicación de la lista de chequeo en la empresa			■				
Interpretación de respuestas			■	■			
2da aplicación de la lista de chequeo en la empresa					■		
Elaboración de acciones correctivas propuestas					■	■	■
Revisión de acciones correctivas con la empresa						■	■
Elaboración del plan de implementación de las acciones correctivas							■
	Etapa 3.1		Etapa 3.2		Etapa 3.3		

Figura 8. Diagrama Gantt de las primeras tres etapas del proyecto. febrero-agosto, año 2018.

Fuente: elaboración propia.

3.4. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

La implementación del proyecto implica la preparación de la empresa para ejecutar las propuestas de mejora elaboradas, en el momento en que sea factible técnica y económicamente. Algunas de las propuestas de acción correctiva se pudieron implantar durante la ejecución del proyecto, específicamente las que no implicaban una inversión de dinero y que no requerían que las órdenes de producción sean de piezas para la industria aeroespacial.

Para las propuestas implementadas, las etapas fueron las siguientes:

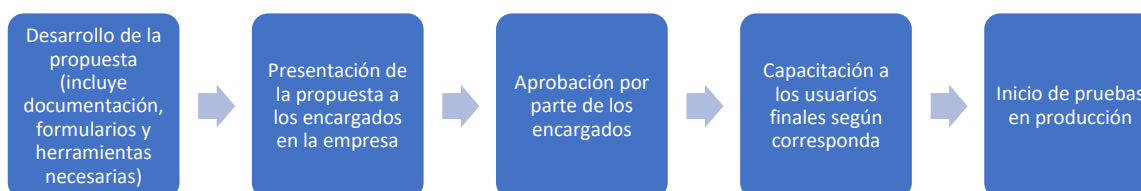


Figura 9. Etapas de implementación de las propuestas de mejora

Fuente: elaboración propia.

Para cada una de las no conformidades detectadas, fue necesario elaborar una propuesta completa de la solución, que incluyera los documentos explicativos, así como los formularios o formatos cuando fuera necesario.

Esta propuesta debió presentarse a los encargados jerárquicos de la empresa, quienes autorizaron su implementación, previo a una posible solicitud de correcciones.

Luego de obtener cada aprobación, se procedió a capacitar a los usuarios finales sobre la utilización de los nuevos productos, explicándoles también la sobre la acreditación que se desea obtener y las ventajas de estas nuevas modificaciones a los procesos.

Una vez capacitados los usuarios, se inició la puesta en marcha de las propuestas de solución a cada no conformidad.

3.5. METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

La empresa cuenta con una certificación ISO 9001-2014 y un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) implementado. Las propuestas generadas en el presente proyecto serán tomadas en cuenta para su incorporación integral en el SGC y de esta forma se incluyan en el ciclo de mejora continua propio de la empresa.

La idea es no generar procesos de verificación, aseguramiento, control y seguimiento paralelos y evitar la duplicidad de esfuerzos. Se opta por esta metodología para aprovechar las capacidades existentes y que las propuestas se comiencen a vivir como parte del SGC propio.

El manual de calidad de la empresa indica que se da seguimiento y medición a los diferentes aspectos que componen el SGC para valorar el desempeño y la

eficacia del mismo. Los datos que se analizan son:

- a) Satisfacción del cliente.
- b) Conformidad a los requerimientos del producto.

La mejora continua de la calidad se enfoca en incrementar los anteriores indicadores y en dar el seguimiento a características y tendencias de los procesos y productos, lo que incluye oportunidades para efectuar acciones preventivas y proveedores, mediante la creación, ajuste o eliminación de los documentos que componen el SGC.

Parte de la mejora continua que se realizó en la empresa, se hizo mediante proyectos de mejora y el SGC cuenta con un formulario estándar para el registro de dichos proyectos, el cual se utilizará para el presente proyecto (Anexo 2).

CAPÍTULO 4. LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS

4.1. TRADUCCIÓN DE LA NORMA Y PRIMERA EVALUACIÓN DE LISTA DE CHEQUEO

Se realizó la traducción de la norma NADCAP para anodizado, ver Anexo 1. Esta actividad inició el 25 y finalizó el 28 de marzo 2018.

El sábado 7 de abril de 2018 se revisó y analizó la lista de chequeo en conjunto con la Gerente Administrativa Financiera de Anodisa.

El sábado 14 de abril de 2018 se aplicó esta lista de chequeo en la planta de Anodisa. Se contó con la participación de la gerente administrativa financiera de la empresa.

Las respuestas obtenidas se presentan en el Anexo 1, junto con algunos comentarios y observaciones que facilitan la identificación de la evidencia existente o necesaria.

Cuadro 3. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 14/4/2018

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Sí	39	47 %
No	17	20,5 %
No aplica	17	20,5 %
Investigar	10	12 %
Total general	83	

Fuente: elaboración propia.

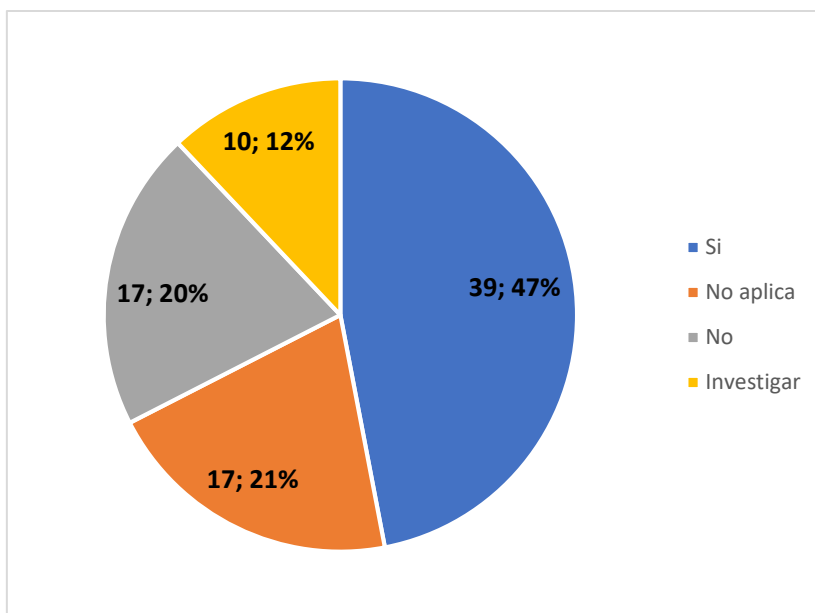


Figura 10. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 14/4/2018

Fuente: elaboración propia.

Como resultado de la aplicación inicial de la lista de chequeo, se encontró que la empresa cumple con 39 de los ítems requeridos (respuesta Sí), 10 preguntas no se pudieron contestar y debieron investigarse más a fondo, 17 preguntas se contestaron como No, debido a que definitivamente no se cumple con lo requerido en la norma.

Por otro lado, 17 preguntas de la lista de chequeo no aplican para la empresa, esto se debe a que Anodisa no provee ciertos servicios, que no son obligatorios para la acreditación.

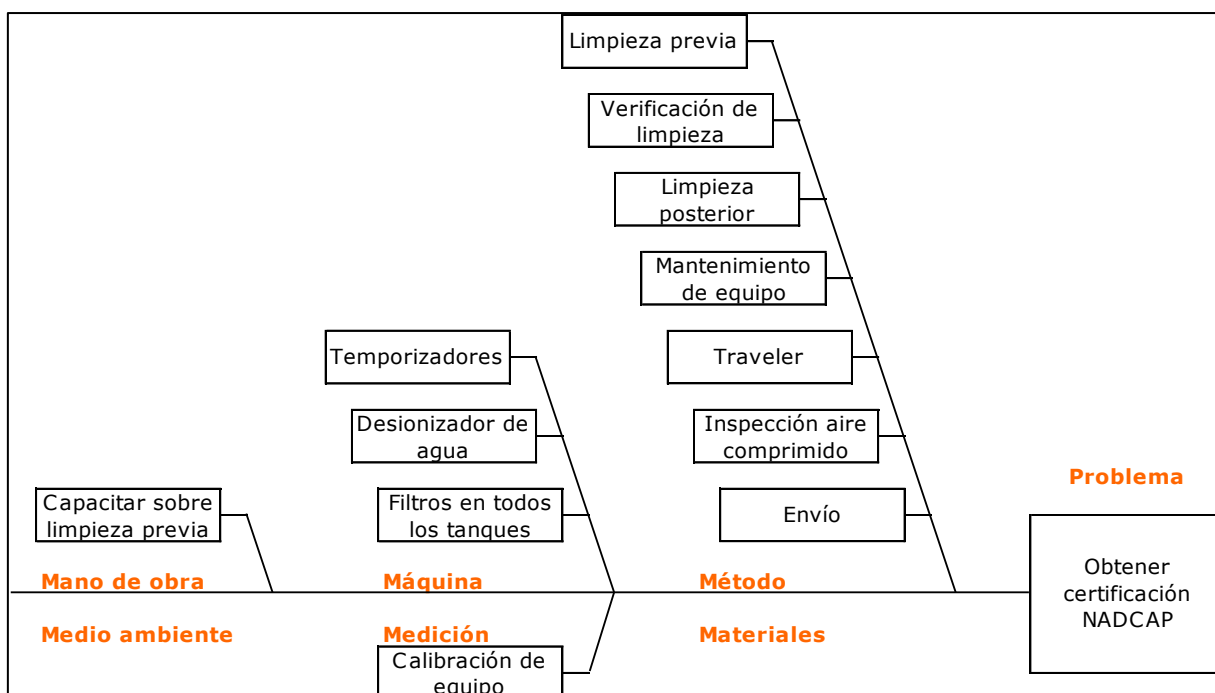


Figura 11. Diagrama Ishikawa (espina de pescado) con las principales limitantes identificadas en la primera aplicación de la lista de chequeo.

Fuente: elaboración propia.

Se clasificaron las 17 no conformidades por medio las 6 M y se diagramaron en un formato Ishikawa. El método de trabajo en la empresa es el principal generador de no conformidades con 7 aspectos principales a mejorar, seguido de la maquinaria disponible con 3. En mano de obra se identificó la necesidad de capacitar al recurso humano en el proceso de limpieza previa de las piezas y su verificación. Por último, en Medición se identificó la necesidad de calibrar diversos equipos eléctricos.

Algunas de las no conformidades se solventan con un mismo aspecto a mejorar, es el caso de la verificación de la limpieza, que se relaciona con 4 no conformidades y la limpieza posterior al anodizado, que se relaciona con 2 no conformidades.

Del 15 de abril 2018 al 25 de mayo 2018 se realizó investigación bibliográfica y

consultas a expertos, que permitieran contestar con seguridad las 10 preguntas pendientes.

4.2. SEGUNDA EVALUACIÓN DE LA LISTA DE CHEQUEO

El 26 de mayo 2018 se realizó la segunda aplicación de la lista de chequeo (ver respuestas en Anexo 1). Esta vez se contó con la participación activa del gerente general, el jefe de Planta, un experto en normas NADCAP que brinda asesoría a la empresa, así como la gerente Administrativa Financiera.

Los resultados definitivos del diagnóstico se obtuvieron en esta segunda evaluación y hubo algunas diferencias respecto de la primera. Una sección entera de preguntas que se habían indicado como *No aplica*, pasó a ser *No*. Esto ocurrió como resultado de una nueva manifestación de interés de la empresa por comenzar a incluir el servicio de enmascarado y que el alcance de la acreditación incluya este proceso. La revisión de la lista de chequeo fue lo que originó este cambio en los procesos de la empresa.

Cuadro 4. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 26/5/2018

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Sí	41	49,4 %
No	29	35 %
No aplica	11	13,3 %
Investigar	2	2,3 %
Total general	83	

Fuente: elaboración propia.

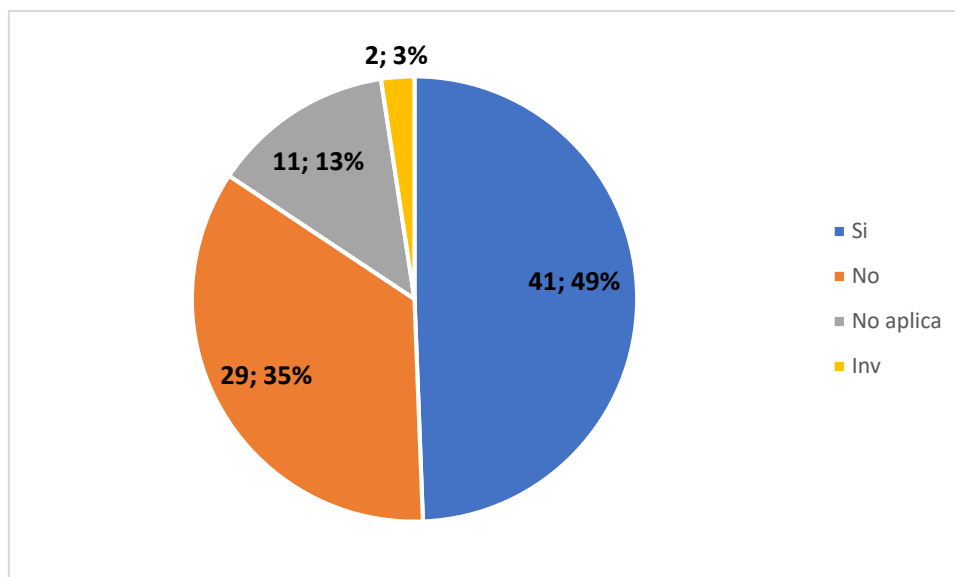


Figura 12. Resumen de respuestas a la lista de chequeo según aplicación del 26/5/2018

Fuente: elaboración propia.

Se identificaron 21 acciones correctivas requeridas para la solución de las 29 no conformidades. En el Cuadro 5 se indican las acciones correctivas resumidas, cada una cuenta con una explicación más detallada, que fue facilitada a la empresa. Algunas NC requieren más de una acción correctiva y, al mismo tiempo, algunas acciones correctivas aplican a más de una NC.

Cuadro 5. 21 acciones correctivas identificadas para solucionar las 29 NC, por clasificación Ishikawa

Clasificación 6 Ms Ishikawa	Acción correctiva
Método	1. Elaborar procedimiento Masking
Método	2. Elaborar procedimiento sobre water-break free.
Método	3. Modificar traveler
Método	4. Elaborar procedimiento sobre limpieza posterior al anodizado
Método	5. Modificar procedimiento fijado
Método	6. Modificar procedimiento de mantenimiento de equipo
Método	7. Modificar procedimiento administrativo
Método	8. Definir mediante experimentación el tiempo requerido para que la temperatura se estabilice, según diferentes intensidades de agitación.
Método	9. Modificar los formatos de ficha técnica para que indiquen cuál

Clasificación 6 Ms Ishikawa	Acción correctiva
	rack utilizar
Método	10. Modificar procedimiento de envío
Método	11. Pendiente cupones de prueba
Método	12. Crear registros históricos de verificación de calidad de soluciones
Método	13. Modificar instructivo preparación de sustancias
Método	14. Modificar procedimiento de secado
Método	15. Modificar procedimiento de inspección del aire comprimido
Medición	16. Calibrar termocuplas
Medición	17. Calibrar temporizadores
Medición	18. Calibrar rectificadores
Medición	19. Calibrar manómetro del aire comprimido
Maquinaria	20. Adquirir temporizadores
Maquinaria	21. Adquirir filtros para todos los tanques

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se agruparon las acciones correctivas, según su afinidad, (por ejemplo, las de procedimientos nuevos o las de calibración de equipo), esto se detalla en el Cuadro 6 y *Figura 13*. Se consideró que cada NC tiene igual importancia o valor, debido a que todas deben estar solucionadas para obtener la acreditación NADCAP. El valor asignado a cada acción correctiva es igual a la cantidad de NC que la misma corrige y en los casos en que se requiere más de una acción correctiva para una NC, el valor total de esa NC se fracciona en partes iguales entre todas sus acciones correctivas. Esto se puede calcular de la siguiente forma, en la ecuación 1.

$$AC = \sum \left(\frac{NC_i}{NAC_i} \right) \quad (1)$$

Donde:

AC es el valor de cada acción correctiva

NC es cada no conformidad corregida completa o parcialmente por la acción

correctiva

NAC es la cantidad total de acciones correctivas que requiere cada NC

Cuadro 6. Acciones correctivas agrupadas según tipo

Acciones correctivas agrupadas	Valor de las acciones correctivas (AC)	Porcentaje acumulado
Elaborar 3 procedimientos nuevos (Método)	13,5	46,55 %
Modificar 6 procedimientos existentes, traveler, ficha técnica y un instructivo (Método)	8,5	75,86 %
Calibrar equipo (Medición)	3,8	89,08 %
Definir mediante experimentación el tiempo requerido para que la temperatura se estabilice, según diferentes intensidades de agitación. (Método)	1,0	92,53 %
Pendiente cupones de prueba (Método)	1,0	95,98 %
Adquirir equipo (Maquinaria)	0,8	98,85 %
Crear registros históricos de verificación de calidad de soluciones (Método)	0,3	100,00 %
Total general	29	

Fuente: elaboración propia.

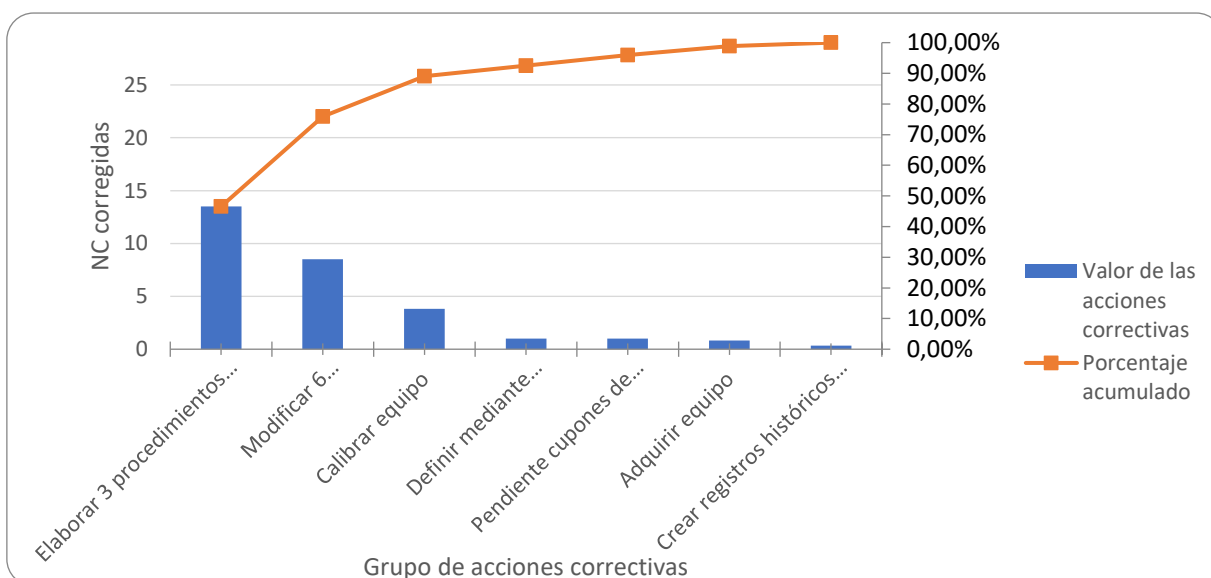


Figura 13. Diagrama de Pareto de los grupos de acciones correctivas

Fuente: elaboración propia.

La mayor parte del valor de las acciones correctivas, que representan 24,3 de 29 no conformidades, corresponde a la categoría Método; 3,8 de 29 a la categoría Medición y el restante 0,8 a la categoría maquinaria.

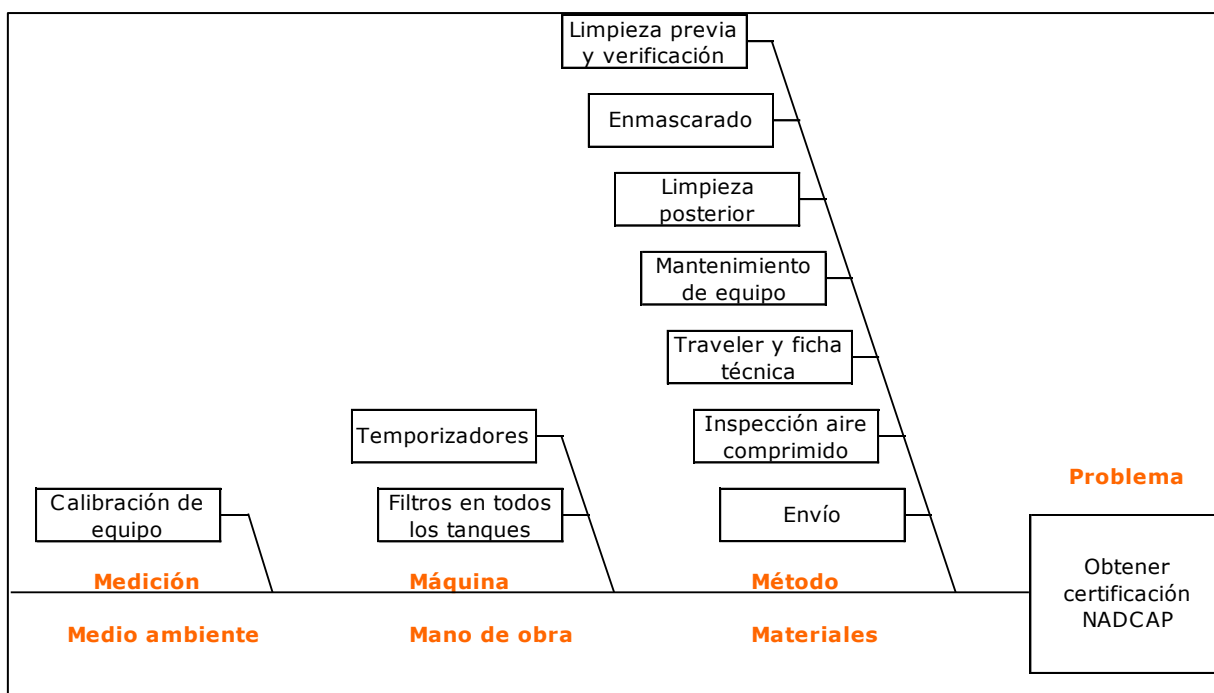


Figura 14. Diagrama Ishikawa (espina de pescado) con las principales limitantes identificadas en la segunda aplicación de la lista de chequeo.

Fuente: elaboración propia.

Al comparar la *Figura 14* con la *Figura 11*, se nota la diferencia en algunos aspectos identificados como faltantes. Principalmente, se agrega el Enmascarado en la sección Método, se elimina la máquina desionizadora de agua, debido a que fue adquirida, instalada y puesta en operación en el plazo transcurrido entre ambas verificaciones de la lista de chequeo y, por último, se remueve la capacitación al recurso humano en limpieza previa y verificación. Esto último se debe a que se identifica que la capacitación al recurso humano será necesaria en la etapa de implementación de las propuestas y no solo para el tema de limpieza previa, sino para todas las mejoras implementadas.

4.3. ANÁLISIS DE DATOS SOBRE PROCESOS

Inicialmente, se elaboró un diagrama de flujo para la comprensión del proceso

en términos generales el cual se presenta en la Figura 15, a continuación.

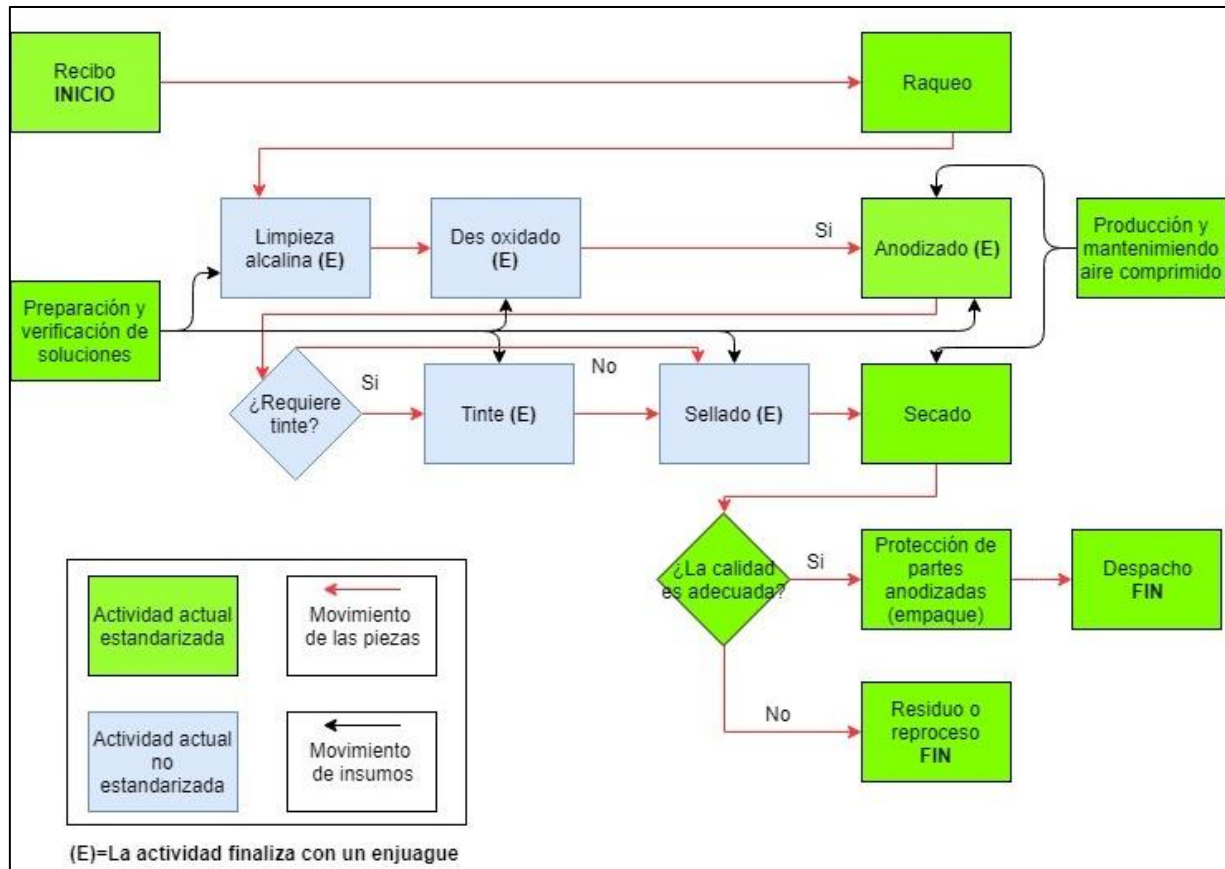


Figura 15. Flujo del anodizado según diagnóstico realizado

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se realizó un análisis de los datos sobre reprocesos disponibles en la empresa, del periodo desde el año 2015 a julio de 2018.

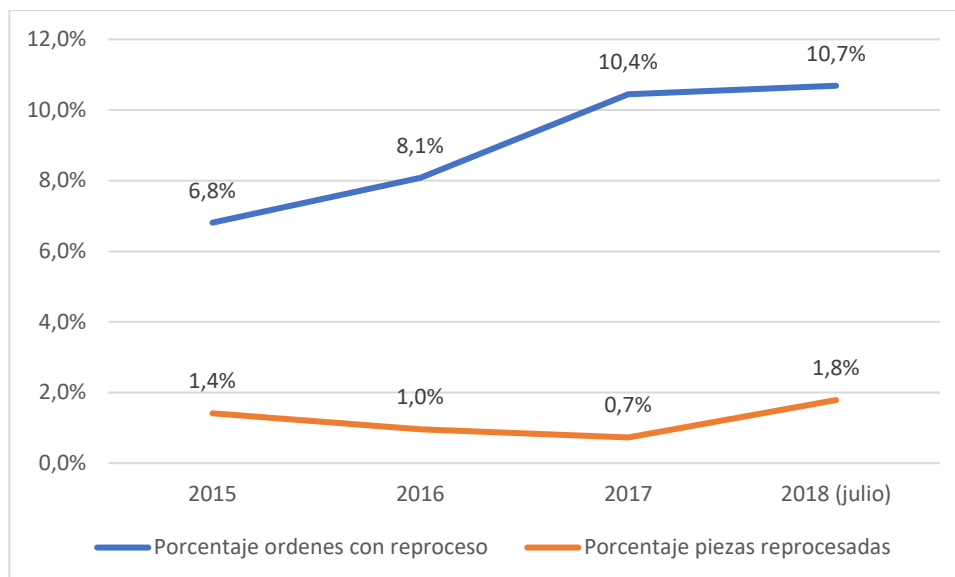


Figura 16. Porcentaje de órdenes y de piezas con reproceso, por año.

Fuente: elaboración propia. con datos de Anodisa.

El porcentaje de órdenes que contienen piezas que debieron reprocesarse se ha incrementado anualmente hasta llegar a un 10,7 % en el periodo enero-julio de 2018. No todas las órdenes de producción constan de la misma cantidad de piezas ni todas las piezas de cada orden deben reprocesarse cuando se detectan defectos, razón por la cual el porcentaje de piezas reprocesadas no se correlaciona con el de órdenes en reproceso. Sin embargo, se evidencia un incremento en el porcentaje de piezas reprocesadas de un 257 % entre 2017 y el periodo medido de 2018, luego de tres años de disminución en dicho porcentaje.

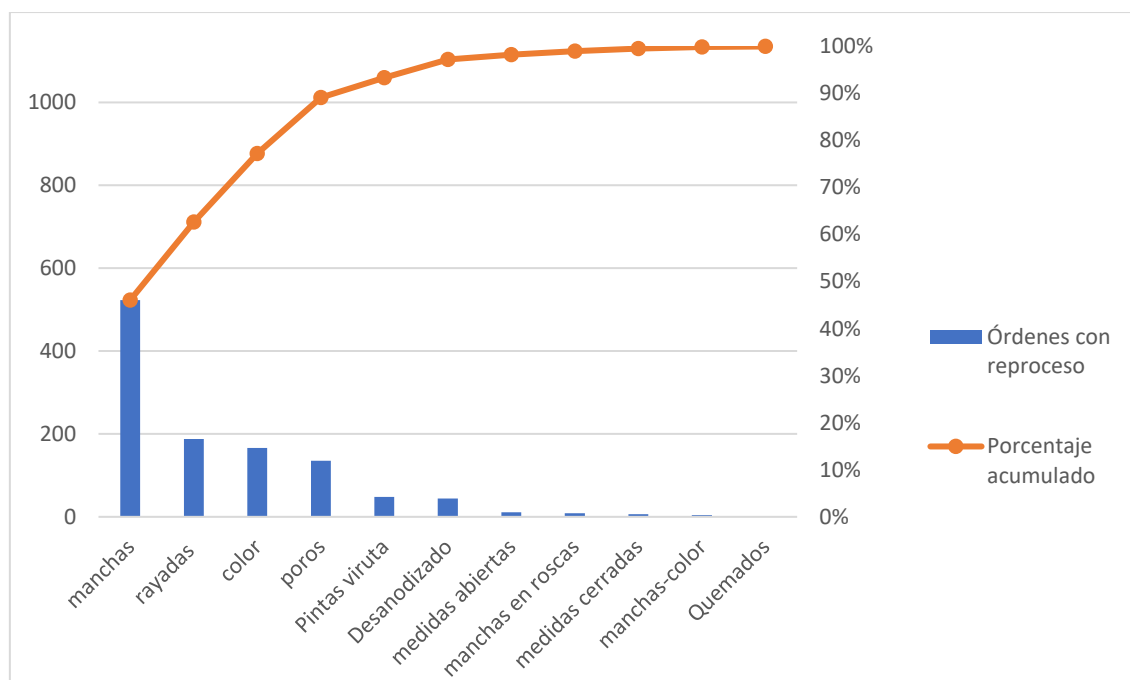


Figura 17. Diagrama Pareto de las órdenes con reproceso según defecto detectado, periodo 2015 a julio 2018.

Fuente: elaboración propia. con datos de Anodisa.

El registro de reprocesos del Sistema de Gestión de Calidad de la empresa no especifica la causa raíz de cada reproceso, sino únicamente el defecto detectado en la etapa de control de calidad. De 11 tipos de defecto tabulados, 4 (36 %) representan el 89 % de las órdenes de producción con reproceso del periodo analizado.

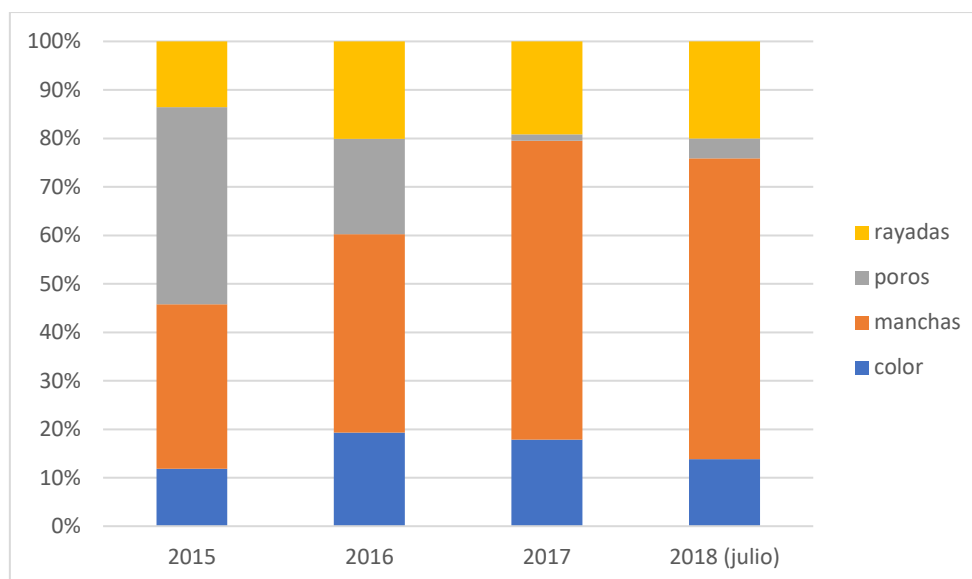


Figura 18. Porcentaje de órdenes con reproceso según los cuatro tipos de defectos predominantes.

Fuente: elaboración propia. con datos de Anodisa

Al analizar la tendencia de los cuatro principales defectos, se detectó que las manchas no solo son el defecto principal, sino que su importancia en términos porcentuales se ha incrementado, mientras que las rayas y el color se mantienen constantes y los poros se reducen.

Es difícil establecer de forma certera la causa raíz de los defectos sin una descripción más detallada de los mismos, sin embargo, una investigación bibliográfica da pistas y brinda posibles respuestas. Según el catálogo de defectos de anodizado (Qualanod, 2018), algunos tipos de manchas se pueden deber a un desengrasado insuficiente en la etapa previa al recubrimiento. En un proceso en el cual no se verifica la limpieza previa al recubrimiento, es esperable que algunas piezas terminen con manchas.

Cuando los procesos no están bajo control y existen fuentes de variación que no se miden, los resultados pueden variar y la calidad del producto final suele verse

comprometida negativamente.

El análisis de reprocesos permite validar la importancia que tendrá la implementación de ciertas acciones correctivas por parte de la empresa. Muchas de esas acciones incrementarán el nivel de control de variables como temperaturas, tiempos, voltajes, corrientes, presión de aire, concentraciones de contaminantes, impurezas en las piezas y sustancias. Estas variables podrían ser la causa raíz de algunos de los defectos encontrados y como resultado del control mejorado de las mismas se deberá obtener un menor nivel de reprocesos.

4.3.1. Conclusiones de la situación actual

El diagnóstico general de la empresa en relación con el cumplimiento de la norma, presenta deficiencias relacionadas principalmente con:

- Método de trabajo, impacta principalmente en órdenes con reprocesos, piezas con reprocesos y el consecuente incremento en desperdicios y costos.

Por otra parte, llama la atención la ausencia de procesos de medición, como la calibración de ciertos equipos, para el control de parámetros esenciales del proceso de anodizado, como la temperatura.

Asimismo, se notan algunas debilidades en aspectos relacionados con máquinas, al no contar con algunos equipos que permitirían mejorar el proceso, además de capacitación de personal y de gestión en general, al no contar con un departamento vital para el rumbo del negocio, como investigación y desarrollo.

CAPÍTULO 5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

5.1. PROPUESTAS

En el capítulo anterior se analizó la situación inicial encontrada en la empresa, se encontraron, principalmente, oportunidades de mejora en el ámbito del método de trabajo. Se evidenció que la empresa tiene un problema creciente en órdenes y piezas con reprocesos y se estableció una relación directa entre las posibles causas raíz de los reprocesos y los métodos de trabajo que podrían mejorarse.

Para el abordaje de los elementos encontrados en el diagnóstico del capítulo anterior, se han realizado cuatro propuestas concretas que implican la elaboración de varias actividades que permiten dar solución a las debilidades diagnosticadas. Las propuestas se resumen en el Cuadro 7 a continuación y su desarrollo tuvo una duración aproximada de 90 horas:

Cuadro 7. Resumen de propuestas de mejora

Propuesta	Encargado	Duración	Condición
1. Diseño y rediseño de documentos de la empresa (ayudas visuales, procedimientos, instructivos y registros) y su validación, lo cual resultó en el rediseño del proceso productivo en la empresa	Benjamin Pavlotzky Blank	80 h	Aprobada
2. Metodología para determinación de variables para ecualización de temperatura de tanques		1 h	Aprobada
3. Cotización para compra de equipo nuevo		3 h	Pendiente
4. Cotización para calibraciones pendientes		6 h	Pendiente

Fuente: elaboración propia.

Las propuestas 1 y 2 comprenden las acciones correctivas de Método. La propuesta 3 corresponde a las de Máquina y la 4 solventa la de Medición.

5.1.1. Propuesta 1. Diseño y rediseño de documentos de la empresa y su validación y rediseño del proceso productivo en la empresa

Esta propuesta incluye la mayoría de las acciones correctivas de Método. Estas se realizaron utilizando como base el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, el cual contiene la documentación estandarizada de los diferentes procesos que se ejecutan. Esta documentación incluye procedimientos (PR), ayudas visuales (AV), instructivos (IT) y registros (R), así como dos formularios denominados Traveler y Ficha técnica que contienen información general de cada orden de producción.

Para que la empresa pueda implantar estas acciones correctivas, se elaboraron y modificaron los siguientes documentos:

Cuadro 8. Documentos propuestos nuevos y modificados del Sistema de Gestión de Calidad de Anodisa³

Nuevos	Modificados
AV1-PC-5: Waterbreak	PR-PC-3: Mantenimiento
AV2-PC-3: inspección de equipos y tanques	IT4-PC-1: Empaque
PR-PC-4: Enmascarado	AV1-PC-3: Inspección compresor
AV3-PC-1: Desmascarado	PR-PC-1: gestión de producción de piezas
	IT1-CC-2: preparación sustancias de anodizado
	IT2-PC-1: Raqueo
	R3-PC-3: revisión de aire del compresor
	PR-GA-2: Administrativo
	PR-CC-5: inspección primer artículo
	R3-CC-2: Control de concentración de sustancias
	Traveler
	Ficha técnica

Fuente: elaboración propia.

El SGC original cuenta con 124 documentos, además del formulario de Traveler y de la Ficha técnica. A estos se adicionan 4, para un total de 130. Con las modificaciones se ve afectado un 9,5 % de los documentos originales: 4,5 % de las ayudas visuales, 2,8 % de los registros, 23 % de los instructivos, 25 % de los procedimientos, así como traveler y la ficha técnica. De manera gráfica, la comparación entre la situación anterior y la actual, se visualiza en la Figura 19.

³ Debido a la solicitud de confidencialidad de la empresa, estos documentos no pueden publicarse (anexo 3).

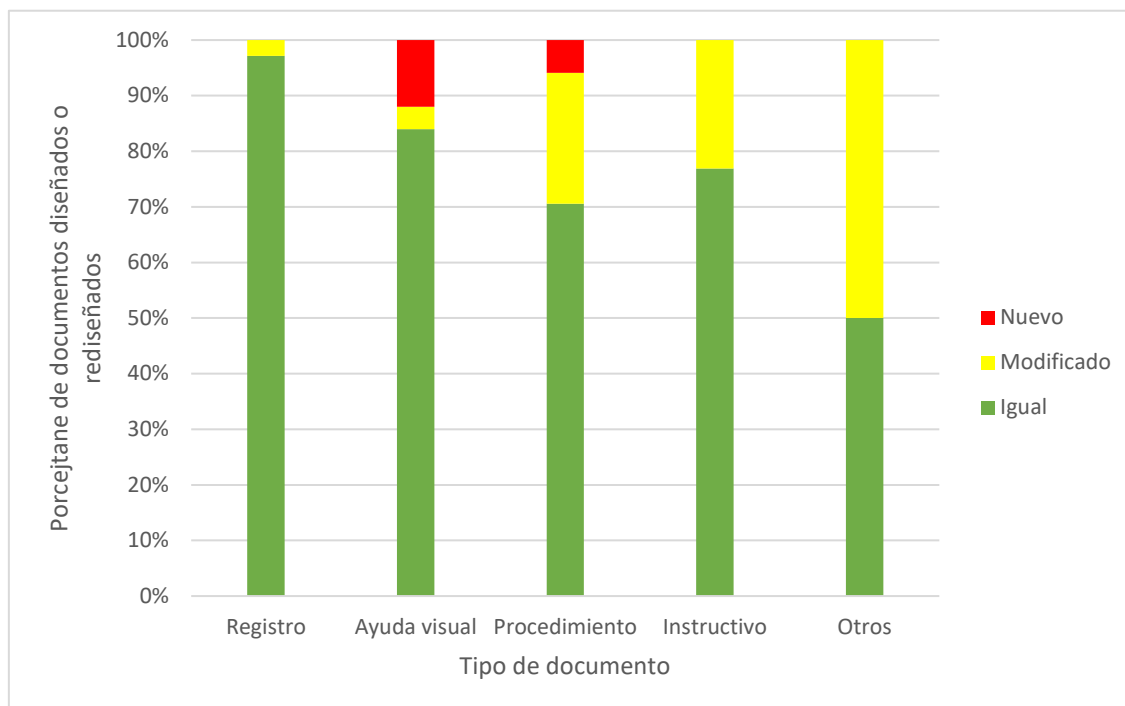


Figura 19. Porcentaje de documentos diseñados, rediseñados o iguales, luego del desarrollo de la propuesta.

Fuente: elaboración propia.

En la *Figura 20* se presenta el diagrama de flujo del proceso según resultaría después de implantar las acciones correctivas.

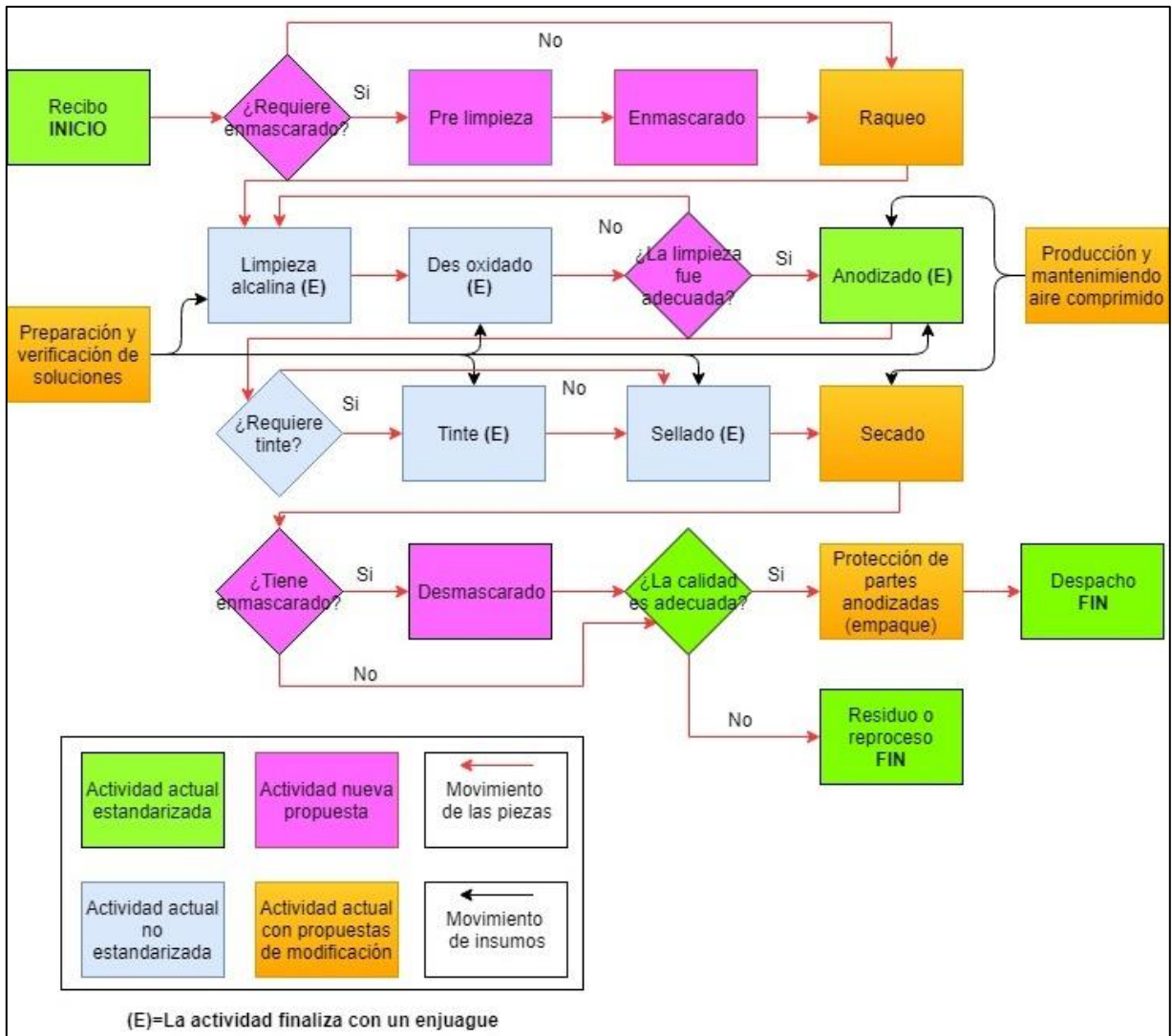


Figura 20. Flujo del anodizado con las propuestas de rediseño del proceso

Fuente: elaboración propia.

Como resultado de la propuesta de rediseño del proceso, se modificaron cinco actividades existentes (en anaranjado) y se agregaron tres actividades y tres verificaciones (en morado). Algunas actividades, marcadas en color celeste, se realizan en el proceso productivo actual, pero no están estandarizadas mediante un procedimiento. Las mismas quedan fuera del alcance del presente trabajo debido a que no son evaluadas específicamente por la norma NADCAP, sin embargo, se mencionan en las recomendaciones del Capítulo 6.

La implementación de esta propuesta es la que más impactará el proceso de producción de la empresa, por un lado, debido a la introducción del nuevo servicio de enmascarado, que incrementará la posibilidad de que los clientes elijan a Anodisa como proveedor.

Por otro lado, impactará positivamente en la calidad del producto final, principalmente por la verificación de la limpieza previa al anodizado. Como se ha visto desde el capítulo 2.1, si la pieza inicia su proceso de anodizado y tiene impurezas en su superficie, la capa anódica no será homogénea y el producto final presentará defectos que requerirán un reproceso. Estos defectos, como manchas o rayas, son la principal detección en los productos no conformes que la empresa ha registrado (ver *Figura 18*), por lo que se espera que cuando la empresa implemente esta nueva verificación de limpieza, los niveles de defectos se reduzcan drásticamente.

Otros cambios mejoran actividades que ya se realizan en la empresa, lo cual tendrá diferentes niveles de impacto, desde asuntos administrativos hasta una mayor vida útil de sustancias químicas utilizadas en el proceso.

5.1.2. Propuesta 2. Determinación de variables para ecualización de temperatura de tanques

Adicional a la propuesta 1 y para finalizar el grupo de acciones correctivas de método, se diseñó un experimento rápido para determinar el tiempo y presión de aire requeridos para ecualizar la temperatura de los tanques de anodizado, el cual es un estado requerido por la norma y debe asegurarse previo al inicio del proceso

electroquímico. Esto fue necesario debido a que la empresa ha asumido siempre que una única termocupla es suficiente para asegurar que la temperatura está homogénea en todo el tanque, lo cual se determinó como insuficiente en la evaluación de la lista de chequeo.

El procedimiento propuesto es el siguiente:

- En su estado inicial, el tanque contiene la solución de electrolito a temperatura ambiente.
- Se insertan 3 termómetros o termocuplas calibrados, uno en una esquina en el fondo del tanque, otro en el centro y el tercero en la esquina opuesta al primero y cercano a la superficie.
- Se inicia un temporizador al mismo tiempo en que se encienden los enfriadores y la agitación por burbujeo a una presión de aire determinada.
- Se registra el tiempo transcurrido hasta el momento en que los tres termómetros marcan una temperatura dentro del rango requerido.
- Si el tiempo es conveniente según los criterios del jefe de Producción, este se deberá utilizar como parámetro en la preparación de los tanques de anodizado. Si se considera que el tiempo debe ser menor, se vuelve a realizar el experimento con una presión de aire mayor.

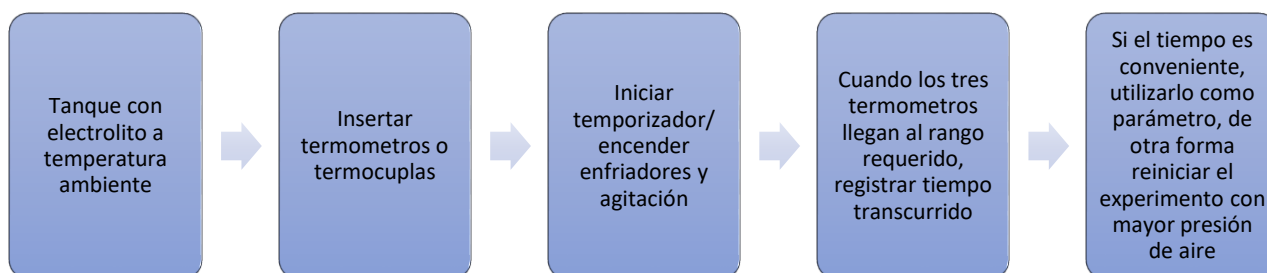


Figura 21. Diagrama de flujo del experimento para determinar variables en tanques de anodizado

Fuente: elaboración propia.

El impacto de esta mejora es directamente al producto final, debido a que se reduce la variabilidad entre piezas del mismo lote. La creación de la capa anódica inicia en el momento en que las piezas se sumergen en la solución del tanque de anodizado y la tasa de oxidación está determinada por diferentes factores, incluidos la concentración de la solución, el pH y su temperatura. Por esto, si las piezas en una parte del tanque están rodeadas por solución con diferentes características que otras piezas, la tasa de oxidación resultante sería diferente y el lote presentaría diferencias en el grosor u otras características de su capa anódica.

5.1.3. Propuesta 3. Compra de equipo nuevo

Estas son las acciones correctivas de Máquina y requieren una inversión que no está en el presupuesto 2018 de la empresa. El resultado del análisis de la norma identificó la necesidad de adquirir algunas piezas de equipo nuevas.

El alcance del presente trabajo fue realizar las cotizaciones necesarias y elaborar la siguiente propuesta de inversión.

Cuadro 9. Cotización de equipos nuevos y calibraciones anuales requeridas para la acreditación.

Adquisición de equipo nuevo			
Tipo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Temporizadores grandes de pared con alarma	3	70	210
Filtros para tanques	13	50	650
Subtotal equipo nuevo			860

Fuente: elaboración propia.

La inversión en nuevos temporizadores y su calibración periódica, reducirían la magnitud de variabilidad del factor tiempo en el proceso de anodizado. Cada etapa del proceso debe realizarse en un periodo específico, indicado en *traveler*. Los operarios deben tener claro el tiempo transcurrido de forma fácil y certera, para comenzar y finalizar cada etapa justo a tiempo y así reducir la aparición de posibles defectos en el producto final, además de reducir el tiempo en que los equipos están en desuso.

Los filtros para tanques deben ser capaces de remover partículas extrañas que se pueden acumular en los tanques de procesamiento y que reducen la vida útil de las soluciones, las cuales suelen contener sustancias costosas, como tintes y otros químicos.

5.1.4. Propuesta 4. Calibración

El resultado del análisis de la norma indicó la necesidad de calibrar algunos equipos que no se había tomado en cuenta por parte de la empresa en su plan de calibración anual, hasta el momento y, por lo tanto, tampoco habían sido presupuestados para el año en curso. Estas son las acciones correctivas de

Medición.

Cuadro 10. Cotización de equipos nuevos y calibraciones anuales requeridas para la acreditación.

Tipo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Calibración anual de equipo			
Termocuplas	10	76	760
Temporizadores	3	50	150
Manómetro	1	65	65
Rectificadores	3	65	195
Subtotal calibración			1170

Fuente: elaboración propia.

La calibración del manómetro del compresor de aire es necesaria para no exceder la presión recomendada por expertos (30 psi) al utilizar aire comprimido para secar las piezas.

La calibración de termocuplas y rectificadores es vital para mantener bajo control las variables térmicas y eléctricas del proceso. El anodizado tiene rangos específicos de temperatura permitida, fuera de los cuales pueden generarse defectos. El rectificador es la fuente de poder, que es la que genera la corriente y el voltaje, cuya magnitud debe ser precisa para generar un recubrimiento controlado y conocido.

5.2. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Las acciones correctivas identificadas en este proyecto se implementarán en tres etapas (ver Cuadro 11), definidas según el momento en el que la empresa obtendría mayor beneficio de su aplicación. La primera etapa se compone de acciones correctivas que mejorarían el proceso de anodizado de piezas que no necesariamente sean para la industria aeroespacial, es decir, se lograría mejorar la

calidad y reducir costos de reprocesos en piezas y lotes que la empresa produce incluso sin la acreditación NADCAP.

La segunda etapa corresponde a acciones correctivas para las cuales se requiere desembolsar efectivo, por lo que se postergan hasta justo antes de la auditoría. La tercera etapa se compone de acciones de mejora que se requieren para anodizar piezas de la industria aeroespacial. Durante la auditoría, la empresa debe demostrar que tendrá la capacidad de brindar su servicio de acuerdo con los requisitos de la norma, para esto basta con presentar al auditor los documentos del Sistema de Gestión de Calidad que norman la forma de trabajar y responden a cada ítem de la lista de chequeo.

Cuadro 11. Acciones correctivas a implantar, por etapa

Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa
AV1-PC-5: Waterbreak	Compra de equipos	IT4-PC-1: Empaque
AV2-PC-3: inspección de equipos y tanques	Calibración de equipos	PR-PC-1: gestión de producción de piezas
AV1-PC-3: Inspección compresor		IT2-PC-1: Raqueo
PR-PC-3: Mantenimiento		PR-GA-2: Administrativo
IT1-CC-2: preparación sustancias de anodizado		PR-CC-5: inspección primer artículo
R3-CC-2: Control de concentración de sustancias		Traveler
R3-PC-3: revisión de aire del compresor		Ficha técnica
Determinación de variables para ecuación de temperatura de tanques		PR-PC-4: Enmascarado
		AV3-PC-1: Desmascarado

Fuente: elaboración propia.

Es importante que la empresa no pierda de vista su misión, en la cual se

identifican los clientes meta. El proceso de acreditación NADCAP, aunque es requisito de la industria aeroespacial, también tendrá un impacto positivo en la producción de la empresa destinada a cualquier otra industria. El fin de obtener certificados y acreditaciones de calidad siempre debe estar estrechamente vinculado a la satisfacción de los clientes, a la mejora continua de la calidad y no a simplemente cumplir con requisitos puntuales.

La capacitación de las acciones correctivas correspondientes a la primera etapa fue brindada a la jefa administrativa financiera y consistió en la revisión detallada de la documentación nueva y modificada. Queda pendiente trasladar la capacidad creada a los encargados en planta de las actividades que sufrieron alteración. Esto se podrá finalizar en la primera quincena de agosto, sin embargo, el inicio de las actividades del plan quedará a criterio de la empresa, según sea pertinente. En la Figura 22 se muestra un esquema temporal que asume un inicio de actividades en agosto.

Actividad	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Capacitación primera etapa	■					
Pruebas piloto		■				
Ajustes a documentación y procedimientos		■				
Implementación de primera etapa		■	■	■	■	■
Ejecución segunda etapa: Adquisición e instalación nuevo equipo y calibraciones		■	■	■		
Tercera aplicación lista de chequeo (auditoría interna)			■			
Solicitud de auditoría NADCAP			■			
Capacitación tercera etapa			■			
Auditoría NADCAP			■			
Obtención de acreditación NADCAP				■		
Notificación a CRAC				■		
Implementación de tercera etapa					■	■

Figura 22. Diagrama Gantt para implementación de la propuesta y acreditación NADCAP

Fuente: elaboración propia.

Luego de una semana de pruebas piloto, se ajustarán los documentos

correspondientes para proceder a la implementación definitiva de la primera etapa, a inicios de septiembre.

La fecha de inicio de lo que sigue queda a criterio de conveniencia de la empresa, según momento en que se considere más conveniente solicitar la auditoría NADCAP, en el plan elaborado se asume una continuación inmediata para dichas actividades.

Se debe tener en cuenta que estas auditorías tienen costos elevados (ver Cuadro 12), pero que en una misma visita del auditor se podrían revisar más normas que la empresa podría requerir, además de la de anodizado.

Antes de la realización de la auditoría, deben estar comprados e instalados los equipos nuevos y todos los equipos deben contar con un certificado de calibración emitido por un ente acreditado por ECA (Ente Costarricense de Acreditación). Además, antes de la auditoría se deberá realizar la capacitación de la segunda etapa.

Para solicitar la auditoría a NADCAP, existe el requisito de presentar el resultado de una auditoría interna, que consiste justamente en aplicar la lista de chequeo. Para esto se podría utilizar el resultado obtenido durante el desarrollo del presente trabajo, pero podría ser recomendable una actualización de las respuestas, lo que representaría una tercera aplicación de la lista.

Durante la auditoría, el auditor NADCAP verificará que todos los requisitos de la lista de chequeo se cumplan o que la empresa esté en la capacidad de cumplirlos en cuanto se comience a trabajar con piezas de industria aeroespacial, por lo que la

capacitación de la segunda etapa deberá estar completada en ese momento.

Aproximadamente un mes posterior a la auditoría, NADCAP emite la acreditación. En este momento se debe comunicar a los miembros del CRAC que la empresa ya está habilitada para comenzar a procesar piezas aeroespaciales, para activar la cadena de valor en el ámbito nacional.

Inmediatamente, se deben implantar las acciones correctivas correspondientes a la segunda etapa, de forma que, además de contar con la acreditación, la empresa también cuente con la capacidad operativa de producción aeroespacial.

Al finalizar este proyecto y cumplir con su alcance, las propuestas de mejora presentan un avance en su implementación, como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 12. Nivel de implementación de las propuestas desarrolladas

Propuesta	Implementación
1. Diseño y rediseño de documentos de la empresa (ayudas visuales, procedimientos, instructivos y registros) y rediseño del proceso productivo en la empresa	90 %
2. Determinación de variables para ecualización de temperatura de tanques	90 %
3. Compra de equipo nuevo	50 %
4. Calibración	50 %

Fuente: elaboración propia.

Para las propuestas 1 y 2 queda pendiente que la empresa tome la decisión de iniciar la aplicación de los instrumentos ya desarrollados y validados. Para la 3 y 4, la empresa debe asignar presupuesto y adquirir los bienes y servicios identificados y cotizados.

5.3. COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO

La inversión aproximada en el desarrollo, implementación y acreditación se desglosa en el Cuadro 13. El costo inicial aproximado es de 10660 dólares y existe un costo anual recurrente para el mantenimiento de la acreditación, de 7170 dólares, que incluye la renovación de los certificados de calibración y la auditoría anual NADCAP.

Cuadro 13. Costos aproximados para el desarrollo e implementación de la propuesta y la acreditación NADCAP.

Las actividades resaltadas indican un costo que impacta el flujo de caja.

Actividad	Facilitador / responsable / participantes	Horas dedicadas	Costo por hora (\$)	Costo total (\$)
Investigación, elaboración y revisión de propuestas	Benjamin Pavlotzky	90	20	1800
Asesoría técnica en segunda aplicación lista de chequeo	Consultor externo	3	70	210
Revisión de propuestas	Jefa administrativa financiera	6	30	180
Capacitación de primera etapa	Jefe de producción y colaboradores	4	40	160
Adquisición e instalación de nuevo equipo	Jefa administrativa financiera	NA	NA	860
Calibración del equipo (costo recurrente anual)	Jefa administrativa financiera	NA	NA	1170
Capacitación de procesos posauditoría	Jefe de producción, administrativa financiera y colaboradores	4	70	280
Auditoría Nadcap (costo recurrente anual)	Jefa administrativa financiera	NA	NA	6000
Total				10660

Fuente: elaboración propia.

Del costo inicial, se debe tener en cuenta que la empresa no verá afectado su flujo de caja por algunas de las actividades realizadas, lo que reduce la inversión inicial efectiva a 8240 dólares aproximadamente.

La empresa deberá evaluar la conveniencia de mantener la acreditación en el futuro, según impacto en las utilidades que provenga de la industria aeroespacial. Sin embargo, incluso si se deja de lado la acreditación, es recomendable que la empresa

incluya las nuevas calibraciones en su plan anual metrológico, siempre enfocándose en la verificación y mejora continua de la calidad.

En el Cuadro 14 se resumen las cuatro propuestas generadas en el presente proyecto, su impacto principal esperado, lo que queda pendiente a la empresa para su implementación final y el costo total que tendrían estas propuestas, para un total de \$4660. A este se le sumaría un aproximado de \$6000 que se deberán desembolsar a NADCAP para el proceso de auditoría.

Cuadro 14. Resumen de impactos, actividades pendientes y costo de las propuestas.

Propuesta	Principal impacto	Pendientes para implementación	Costo (dólares)
1. Diseño y rediseño de documentos de la empresa (ayudas visuales, procedimientos, instructivos y registros) y rediseño del proceso productivo en la empresa	Nuevo servicio de enmascarado. Disminución en la afectación del defecto con mayor recurrencia en el producto final.	Iniciar aplicación de los instrumentos desarrollados y validados	2630
2. Determinación de variables para ecualización de temperatura de tanques	Menor variabilidad entre piezas de un mismo lote.		
3. Compra de equipo nuevo	Menor variación en parámetros (tiempo) del proceso y mayor vida útil de consumibles	Asignar presupuesto, adquirir e instalar equipo	860
4. Calibración	Menor variación en parámetros del proceso (temperatura, presión de aire)	Asignar presupuesto, contratar servicio de calibración identificado	1170

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La empresa cumple con un 49,4 % y no cumple con un 35 % de los criterios auditables de la norma NADCAP. Queda pendiente investigar a mayor profundidad 2,3 % de los criterios. El restante 13,3 % no aplica para los efectos de Anodisa.
- Para conseguir la acreditación, se desarrollaron 21 acciones correctivas que varían el flujo de proceso de anodizado de la empresa y modifican un 9,5 % de la documentación del Sistema de Gestión de Calidad de la empresa.
- Se agregaron tres actividades y tres verificaciones al proceso general de la empresa, que permiten cumplir con algunos de los requisitos de la norma.
- Se consideró necesario, para fortalecer el proceso actual, la adquisición de filtros y temporizadores, por lo cual se realizaron las cotizaciones correspondientes.
- Asimismo, se identificó la necesidad y se contactó a diferentes empresas de calibración, para obtener la cotización para certificar algunos equipos que no se habían tenido en cuenta en el plan de calibración de Anodisa.
- Se estableció la necesidad de capacitación a empleados e involucrados en las actividades rediseñadas y nuevas, las cuales permitirán reducir

la cantidad de reprocesos y reórdenes de trabajo y serán necesarias para poner en marcha el proceso de anodizado para la industria aeroespacial.

- Es difícil realizar un pronóstico realista del beneficio en utilidades que la empresa obtendría con la acreditación. Sin embargo, los costos iniciales que afectarán el flujo de caja de la empresa se aproximaron a 8240 dólares en el año 0 y serán 7170 dólares anuales para mantener la acreditación vigente. Las utilidades generadas por la producción aeroespacial, deberán ser mayores a esta inversión para que la relación beneficio/costo sea mayor a 1.

6.2. RECOMENDACIONES

En la revisión bibliográfica realizada durante el desarrollo del proyecto se hallaron buenas prácticas del proceso de anodizado que la empresa no aplica. Estas se detallan a continuación, entre otras mejoras identificadas:

- Unificar los procedimientos, registros y toda la documentación utilizada en órdenes de trabajo tanto para industria aeroespacial como para otras industrias (por ejemplo, no gestionar formatos diferentes de ficha técnica según la industria del cliente).
- Debido a la importancia del proceso de limpieza previa al anodizado, se recomienda modificar la estructura ocupacional de la empresa, al agregar un encargado a este proceso.

- Tapar los tanques cuando sea posible, para reducir posible contaminación con elementos atmosféricos.
- En la verificación de calidad de las piezas, implantar pruebas de dureza y grosor de la capa anódica, los cuales son parámetros esenciales del proceso termoquímico.
- Analizar la posibilidad de utilizar una solución denominada *electrolito de anodizado múltiple* (Multiple anodizing electrolyte - MAE). Este tipo de electrolito tiene ventajas en calidad, eficiencia y ambiente.
- Interiorizar la diferencia en los niveles de exigencia que tendrán los clientes aeroespaciales en comparación con los clientes habituales de la empresa. Los rangos de tolerancia en diferentes variables del producto final serán menores.
- Controlar el tiempo de proceso de anodizado, al tener en cuenta la corriente y no el voltaje, por lo cual se requiere conocer con precisión el área superficial de las piezas.
- Implementar un proceso de I+D para adelantarse a los requerimientos futuros de los clientes y a las capacidades de la competencia, así como el alineamiento de los procesos a las normativas y estándares internacionales emergentes.
- Métrica para crecimiento de clientes, que considere que anualmente se identifican: clientes potenciales, clientes nuevos, clientes activos y clientes inactivos.

CAPÍTULO 7. ANEXOS

7.1. ANEXO 1. LISTA DE CHEQUEO NADCAP AC 7108/8

Cuadro 15. Lista de chequeo NADCAP AC 7108/8 con respuestas según aplicación del 14/4/2018 y del 26/5/2018 en Anodisa. Traducción propia.

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
5.	Mantenimiento y control del equipo del proceso		
5.1.	General		
5.1.1.	¿Los tanques están etiquetados con un número de identificación, contenidos y rangos de temperatura?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento:</i>		
	<i>El número de tanque no se requiere si el tanque es identificado de forma única de otra forma</i>		
5.1.2.	¿La fuente de aire comprimido utilizado para secar partes después del proceso, incluye filtros de partículas, humedad y aceite, con mantenimiento calendarizado e inspección en el punto de uso?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se utiliza aire comprimido para el anodizado.</i>		
	<i>Esto no significa que cada punto de uso debe ser inspeccionado, pero el punto de inspección debe ser tan cercano al punto de uso como sea práctico.</i>		
5.2.	Procedimientos de mantenimiento		
5.2.1.	¿La contaminación se remueve de las soluciones utilizadas en el proceso como es requerido, mediante procesos como filtración, tratamiento químico, etc.?	No	No
5.3.	Equipo de la línea de proceso		
5.3.1.	¿Los racks y fixturing son adecuados para su propósito y se mantiene en su área respectiva?	Sí	No
5.3.2.	¿Los tanques con rangos definidos de temperatura están operando según el rango indicado?	Sí	No
5.3.3.	¿Los tanques tienen suficiente volumen y dimensiones para contener las piezas durante el procesamiento y asegurar que las partes se cubran?	Sí	Sí

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Toda el área a procesar debe estar sumergida.</i>		
	<i>Otras situaciones como una doble inmersión requieren la especificación o aprobación del cliente.</i>		
5.3.4.	¿Los tanques que requieren uniformidad en temperatura y concentración de la solución se agitan?	Sí	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La agitación puede apagarse cuando no está siendo utilizado y encenderse previo a utilizarse, con el suficiente tiempo para estabilizar la temperatura y mezclar la solución de forma adecuada.</i>		
5.3.5.	¿Los tanques utilizados para aplicación de capas anódicas están equipados para procesar piezas de diferentes configuraciones geométricas o diferentes tamaños de lote, para promover tasas de deposición uniformes según sea necesario o requerido por la especificación o los requerimientos de las partes o clientes?	Inv	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no es requisito por especificación o cliente</i>		
5.3.6.	¿Se utiliza agua des-ionizada para la composición del baño de sellado del anodizado?	No	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se realiza sellado del anodizado</i>		
5.3.7.	¿Se utiliza agua des-ionizada para la composición y reposición de soluciones para anodizado, a menos que exista evidencia objetiva de que el agua disponible en las instalaciones sea aceptable?	Inv	Inv
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La evidencia objetiva debe incluir análisis periódicos del agua disponible y pruebas que demuestren el alcance de las especificaciones requeridas.</i>		
5.4.	Tratamientos térmicos y procesos de calentamiento misceláneos, como secado de piezas.		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se realizan tratamientos térmicos o procesos de calentamiento misceláneos como parte del proceso de anodizado</i>		
5.4.1.	¿El equipo para tratamiento térmico y procesos de calentamiento es controlado según los requerimientos de AC7108 sección 5.4 o 5.5?	No aplica	No aplica
5.5.	Procedimientos de limpieza: general		

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
5.5.1.	¿Los procedimientos de limpieza son compatibles (y seleccionados de acuerdo con requerimientos del cliente si existieran) con las aleaciones de las partes, diferentes componentes de los ensamblados, capas depositadas previamente y el material utilizado para soldar?	No	Sí
5.6.	Limpieza mecánica		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si no se utiliza limpieza mecánica en este proceso</i>		
5.6.1.	¿El tipo y tamaño del medio está de acuerdo con el procedimiento interno y cuando se requiera, a las especificaciones?	No aplica	No aplica
5.6.2.	¿El chorro de arena para limpieza abrasiva es cambiado o controlado según los requerimientos definidos?	No aplica	No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si se realiza limpieza mecánica diferente a chorreado de arena</i>		
5.6.3.	¿Los gabinetes o medios para chorros abrasivos se controlan para minimizar contaminación cruzada de aleaciones (como aleaciones basadas en aluminio y hierro)?	No aplica	No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Esto se puede lograr mediante intercambio de medios, equipo dedicado para el chorro, etc.</i>		
5.7.	Limpieza química previo al anodizado		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La limpieza con ultrasonido se considera como una forma de limpieza química</i>		
5.7.1.	¿Existe un procedimiento que especifique un intervalo mínimo de corte de agua (water-break free interval)?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica solo para barril o líneas automatizadas.</i>		
	<i>El intervalo mínimo de water-break free debe ser suficiente para asegurar una limpieza adecuada, pero también debe asegurar que las piezas no se sequen. El tiempo depende del proceso, material de la pieza, tamaño, geometría y especificación del cliente.</i>		
5.7.2.	¿El procesador tiene controles adecuados en funcionamiento para asegurar que se obtengan superficies water-break free previo a continuar el proceso?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica solo para barril o líneas automatizadas.</i>		
	<i>Algunos clientes o especificaciones podrían requerir documentación del cumplimiento del paso wáter-break free. Otros sistemas de control pueden ser aceptables.</i>		

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
5.7.3.	¿La ubicación de los baños desoxidantes permite su proceso inmediatamente previo al anodizado?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requieren baños desoxidantes.</i>		
5.8.	Masking		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si el masking no es requerido</i>		
5.8.1.	¿Existen procedimientos aplicados para realizar masking previo a la limpieza, para inspección visual o masking adecuado antes o después de la limpieza y para re-masking cuando la pieza se daña durante la limpieza mecánica?	No aplica	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requiere masking previo a la limpieza</i>		
5.9.	Fuentes de poder		
5.9.1.	¿Las fuentes de poder están equipadas con amperímetros, voltímetros y controladores de tasa de incremento (si está equipado) calibrados?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Para aquellos tanques equipados con gráficos digitales o en papel que registran el voltaje/amperaje y el tiempo, la calibración del controlador de la tasa de incremento no es requerida, asumiendo que la tasa de incremento pueda verificarse en los datos registrados</i>		
5.9.2.	¿Cada circuito de anodizado cuenta con medidores dedicados que indiquen el valor actual para dicho circuito?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Estos podrían ser amperímetros o voltímetros</i>		
5.9.3.	¿La resolución del medidor de poder es suficiente para el rango de voltaje y amperaje especificado en la (shop paper traveler)?	Inv	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La resolución de amperímetro/voltímetro necesita ser suficiente para controlar el proceso apropiadamente. Por ejemplo, un amperímetro con una escala de 0-3000 amps en incrementos de 100 amps no proveerían suficiente resolución para verificar que se estén aplicando 64 amps.</i>		
5.9.4.	¿Los rectificadores identifican a cuál tanque dan servicio o en caso negativo, cada tanque cuenta con un reóstato individual?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: si se utilizan múltiples rectificadores por tanque o rectificadores portátiles, el rectificador debe ser trazable al equipo individual.</i>		
5.9.5.	¿Cuándo se requiere por especificación, se verifica periódicamente la onda (ripple) para rectificaciones?	Inv	Inv

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requieren chequeos de la onda en la especificación.</i>		
	<i>Las mediciones de onda deben ser realizadas en el tanque y pueden ser realizadas como parte del proceso de calibración.</i>		
5.9.6.	¿Si ocurre una falla de poder, existe un mecanismo que requiera al operador reiniciar físicamente la fuente de poder de los tanques de anodizado?	Sí	Sí
5.10.	Temporizadores		
5.10.1.	¿Los temporizadores están disponibles, adecuados al propósito, calibrados y visibles o audibles desde los tanques?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Los temporizadores utilizados para el control del proceso deben estar calibrados. Los temporizadores incluyen relojes de pared y de muñeca, si los operadores los utilizan como parámetro para tomar el tiempo de los procesos</i>		
6.	Conformidad		
	Ver OP 1114 apéndice CP para la cantidad y composición requerida de trabajos auditados.		
	El OP 1114 apéndice CP menciona lo siguiente:		
	“4.5.4.a: For AC7108 audits, was at least one job audit for each process slash sheet in the scope of the audit and with a minimum of one job audit per audit day completed unless otherwise agreed by a staff engineer?” Esto aplica tanto para auditorías internas como externas.		
6.1.	Trabajo 1 (igual para el trabajo 2 y 3)		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si no se requiere la auditoría de este trabajo.</i>		
	<i>Nota: si la parte que está siendo auditada tiene EC (export control) – LR (por ejemplo: ITAR, Regulación del tráfico de armas internacional), las preguntas marcadas con (EC) no pueden ser respondidas, ya que es información técnica que no puede ser mostrada en eAuditNet. La respuesta del auditor a estas preguntas es “EC/LR”</i>		
6.1.0.1.	Identificar tipo de trabajo auditado:		
	a. En Proceso		
	b. Histórico		
	¿La parte es EC?		
	c. Sí		
	d. No		

Nº	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.1.	(EC) Identificación del trabajo – Trabajo auditado de: _____		
	<i>(Si es EC, solo incluir una descripción básica del proceso, como Anodizado. No incluir otros detalles como clase o tipo)</i>		
6.1.1.1.	Descripción de la pieza: _____		
	<i>(Si es EC, solo incluir una descripción general, como aspa de turbina, “soporte”)</i>		
6.1.1.2.	Parte Número: _____		
6.1.1.3.	Cliente: _____		
6.1.1.4.	Principal contratista: _____		
6.1.1.5.	Orden de compra / Nivel de revisión: _____		
6.1.1.6.	Cantidad de partes: _____		
6.1.1.7.	Serie / Número de lote: _____		
6.1.1.8.	Fecha del trabajo / Número del trabajo: _____		
6.1.1.9.	(EC) Aleación / Condición del tratamiento de calor / Dureza: _____	No	No
6.1.1.10.	Especificaciones de procesamiento: _____		
	<i>(Si es EC, solo incluir número de especificación, como “AMS2411”, no incluir otros detalles como clase o tipo)</i>		
6.1.1.11.	(EC) Otros requisitos de la orden de compra y cualquier variación aprobada a los requisitos especificados: _____		
6.1.2.	Revisión del papeleo: (Comparar orden de compra, documentos de envío, planos de referencia, especificaciones, (<i>shop travelers</i>), instrucciones de proceso y registros de inspección)		
6.1.2.1.	¿Los números de parte, especificaciones y niveles de revisión se bajan correctamente?	Sí	Sí
6.1.2.1.1.	¿Los procesos congelados se identifican y si es así, se obtuvo la aprobación del cliente?	Inv	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no hay procesos congelados</i>		
6.1.2.1.2.	Si se trata de una ampliación de pedido, ¿se ha revisado si los requerimientos de la orden tienen un cambio?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no es una ampliación de pedido</i>		
6.1.2.2.	¿Los requerimientos de procesamiento e inspección se bajan correctamente?	Sí	Sí

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.2.3.	¿El documento de trabajo provee lo siguiente?		
6.1.2.3.1.	¿Identificación trazable de la parte?	Sí	Sí
6.1.2.3.2.	¿Todos los pasos de procesamiento identificados, incluyendo números de procedimiento según aplique?	Sí	Sí
6.1.2.3.3.	¿Todos los requerimientos de inspección y pruebas identificados, incluyendo planes de muestreo y números de procedimiento?	Sí	Sí
6.1.2.3.4.	¿Si se hace retrabajo se documentan todas las operaciones?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requiere retrabajo para este trabajo</i>		
6.1.2.3.5.	¿Todos los cupones de prueba están identificados y trazables a piezas/lotos específicos? ¿Los cupones fueron procesados a lo largo de todos los pasos del proceso en piezas/lotos que representan, incluyendo limpieza química o mecánica pre y posproceso y ciclos térmicos?	Inv	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requiere procesar cupones de prueba en este trabajo</i>		
6.1.3.	Observaciones del proceso		
6.1.3.1.	¿Se realizó la inspección según se define en el documento de trabajo?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si las partes se transfirieron entre departamentos</i>		
6.1.3.2.	¿La limpieza previa al proceso se realizó según se define en el documento de trabajo?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requiere este paso</i>		
6.1.3.2.1.	¿Se removieron contaminantes superficiales (incluyendo aceites, productos adhesivos y sus residuos y tintas para marcado de las partes) previo al grabado o descalcificación con ácido?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requiere grabado o descalcificación con ácido</i>		
6.1.3.3.	Limpieza mecánica	Sección No aplica	
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si este paso no se requiere</i>		

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.3.3.1.	¿Las distancias, presiones y medios de compensación se registraron según requerido?		No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si el cliente/especificación determina específicamente que no se requiere registrar los parámetros del proceso.</i>		
	<i>Algunos parámetros pueden ser fijados mecánicamente y no son controlados por el operador, como la distancia de compensado. Ver Audit Handbook</i>		
6.1.3.3.2.	¿El acabado de la superficie fue medido o evaluado según lo requerido por el cliente o la especificación?		No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se impusieron requisitos de acabado</i>		
6.1.3.3.3.	¿Se verificó visualmente la remoción de corrosión, óxidos, incrustaciones y medios abrasivos, en la maquinaria?		No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La inspección visual durante el proceso debe ser realizada antes de la siguiente operación</i>		
6.1.3.4.	Tratamiento térmico preproceso	Sección No Aplica	
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si este paso no se requiere</i>		
6.1.3.4.1.	(EC) ¿El preproceso térmico se realizó según lo definido en el documento de trabajo?		No aplica
	<i>(Para partes que no son EC/LR registrar el tiempo y temperatura aplicados o si no fue requerido)</i>		
6.1.3.4.2.	¿La temperatura y tiempo del tratamiento térmico preproceso fue registrada?		No aplica
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si el cliente/especificación dicta que los parámetros del proceso no requieren ser registrados</i>		
6.1.3.5.	Masking	Sección No Aplica	
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si este paso no se requiere</i>		
6.1.3.5.1.	¿El masking fue realizado según lo definido por el documento de trabajo?		No
6.1.3.5.2.	¿El traveler/documentos de trabajo muestran las áreas que deben ser <i>masked</i> y especifican el material a utilizar para el		No

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
	masking?		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: La mejor práctica es tener instrucciones de trabajo como parte del traveler que indiquen específicamente donde hacer el mask y que materiales usar. Es aceptable tener una instrucción de trabajo genérica o el dibujo técnico del cliente o las hojas de proceso del cliente si estas proveen suficiente información y el masking y maskants se documentan en documentos de trabajo trazables.</i>		
6.1.3.5.3.	¿Si el material para masking a utilizar no se define en los documentos de trabajo, esto se registra?		No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si la especificación, el cliente o el documento de trabajo definen que no es requerido registrar los parámetros del proceso</i>		
6.1.3.5.4.	¿El material de masking es compatible con la maquinaria y las condiciones del proceso?		No
6.1.3.5.5.	¿El masking se diseña para asegurar que parte del área a procesar está expuesta y el resto está excluida según lo requerido por el cliente?		No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Se debe dar atención particular a huecos roscados, superficies medidas y articulaciones de ensambles previo al soldado y ensambles como conductos de rodamiento</i>		
6.1.3.6.	Fijado y raqueo		
6.1.3.6.1.	¿Las partes fueron fijadas y raqueadas según lo definido en los documentos de trabajo?	Sí	Sí
6.1.3.6.2.	¿Los fijadores, barras de trabajo, conexiones eléctricas y hard masking están libres de corrosión y daño físico detrimental al proceso mientras se usan?	No	No
6.1.3.6.3.	¿Los fijadores y masking están diseñados de tal forma que no atrapen aire o soluciones del proceso en las partes?	Inv	No
6.1.3.6.4.	¿El diseño del fijado y raqueo es adecuado para que cuando las piezas se posicionan para enjuague, hay suficiente neutralización y remoción de la solución del proceso y minimiza el arrastre y contaminación cruzada entre tanques de proceso?	Sí	Sí
6.1.3.6.5.	¿El diseño de los fijadores y racks y el arreglo de las barras de trabajo y ánodos/cátodos, permite que los contactos eléctricos sean sólidos, pero, eviten un potencial daño por presión o arcos eléctricos?	Inv	No
6.1.3.7.	¿La limpieza (limpieza alcalina y verificación), fue realizada según lo definido en los documentos de trabajo?	No	No

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.3.7.1.	¿La limpieza química y el enjuague fueron realizados inmediatamente previo a proseguir con el proceso químico, a menos que lo contrario fuera aprobado por el cliente o la especificación?	Sí	Sí
6.1.3.7.2.	¿Todo el material producido y las piezas de prueba se mantuvieron húmedas y una superficie completamente (water break free) se observó después del ciclo de limpiado?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica según lo siguiente:</i>		
	<i>-El proceso enchapado de barril está exento de observar una superficie (water break free)</i>		
	<i>-Las líneas de procesamiento automatizado están exentas de observar una superficie (water break free), a menos que lo contrario sea indicado por una organización ingenieril competente, siempre que los siguientes controles existan:</i>		
	<i>--¿Todas las soluciones del proceso se analizan químicamente (ver matriz) y se mantienen según los límites de solución prescritos?</i>		
	<i>--¿Todos los tanques de proceso y áreas de andamiaje se blindan contra fugas directas de equipo sobrecalentado?</i>		
	<i>--¿Hay una inspección y mantenimiento calendarizado del equipo sobrecalentado para eliminar fuentes de fugas?</i>		
	<i>--¿Existe un historial de resultados aceptables en procesos de control y pruebas de lotes que indiquen que las condiciones de limpieza superficial, basados en requerimientos de pruebas de especificaciones relevantes? (por ejemplo, spray de sal, adhesión de revestimiento)</i>		
6.1.3.8.	¿La desoxidación / activación, incluyendo cualquier verificación de limpieza requerida, se llevó a cabo según lo definido en los documentos de trabajo?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si este paso no es requerido</i>		
6.1.3.9.	¿La etapa principal del proceso (ej.: Anodizado, conversión del recubrimiento, galvanizado) se llevó a cabo según lo definido en los documentos de trabajo?		
6.1.3.9.1	Equipo / Identificación de herramienta:	Sí	Sí

6.1.3.10.	¿Todas las etapas posteriores a la etapa principal (ej.: teñido, sellado, cromado) se llevaron a cabo según lo definido en los documentos de trabajo?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si esta etapa no es requerida</i>		

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.3.11.	¿Los parámetros del proceso se registraron manualmente o por el equipo automatizado?	Sí	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si el cliente específicamente indica que no se requiere el registro de variables controladas por el operador.</i>		
	<i>Los parámetros del proceso que deben ser registrados son: - voltaje o amperaje para cualquier limpieza electrolítica, aumento del voltaje de anodizado, voltaje o amperaje de anodizado, tiempos de inmersión en tanques de procesamiento (excepto en tanques de enjuague y limpieza non-etch), área superficial de las partes si las etapas del proceso están controladas por densidad de corriente.</i>		
6.1.3.12.	¿Las partes se movieron entre tanques sin un retraso que afectara la calidad del proceso?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: el intervalo de tiempo entre ciertas etapas del proceso podría ser crítico</i>		
6.1.3.13.	Limpieza/desmascarado posterior al proceso		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si no se requiere esta etapa</i>		
6.1.3.13.1.	¿La limpieza y desmascarado posterior al proceso se llevaron a cabo según lo establecido en el documento de trabajo?	No	No
6.1.3.13.2.	¿Los adhesivos, material de mascara, marcas y químicos residuales se removieron después del proceso según lo requerido?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Los materiales de enmascarado que son compatibles con el tratamiento térmico o requerido para próximas etapas del proceso, pueden ser removidos más adelante</i>		
6.1.3.14.	Tratamiento térmico posproceso	Sección No Aplica	
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si este paso no es requerido</i>		
6.1.3.14.1.	(EC) ¿Los tratamientos térmicos posproceso se llevaron a cabo según lo definido en los documentos de trabajo?		No aplica
	<i>(Para partes no EC/LR, registrar el tiempo y temperatura, tiempo de intervalo desde el proceso o si no es requerido)</i>		
6.1.3.14.2.	¿El tiempo y temperatura del tratamiento térmico posproceso fue registrado?		No aplica

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si el cliente/especificación establecen específicamente que los parámetros del proceso no requieren ser registrados</i>		
6.1.4.	Pruebas / Inspección para aceptar lote		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si no se requieren pruebas del lote</i>		
6.1.4.1.	(EC) Listar las pruebas de aceptación del lote efectuadas:		
	Pruebas: _____		
6.1.4.2.	¿La definición de <i>lote</i> establecida por el proveedor es conforme a la definición de la especificación?	Sí	Sí
6.1.4.3.	¿Si las partes fueron enviadas antes de la finalización de las pruebas de aceptación del lote, esto fue autorizado por escrito por el cliente?	No	No
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si las partes no fueron enviadas antes de completar las pruebas del lote</i>		
6.1.4.4.	¿El plan de muestreo coincidió con la especificación o los requerimientos del cliente?	Sí	Sí
6.1.4.5.	¿Las piezas se retuvieron pendiente a la resolución de no conformidades detectadas durante las pruebas?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no hubo no conformidades</i>		
6.1.4.6.	¿Se realizó y documento la evaluación del lote?	Sí	Sí
6.1.4.7.	¿Las pruebas del lote fueron realizadas conforme la especificación o requisitos del cliente?	Sí	Sí
6.1.5.	Inspección Final		
6.1.5.1	¿Todas las operaciones, inspecciones y pruebas están apropiadamente selladas o firmadas y fechadas, como es requerido, por el operador o departamento correcto?	Sí	Sí
6.1.5.2.	¿Todas las operaciones, inspecciones y pruebas se realizaron en una secuencia registrada o trazable a líneas de proceso/estaciones, operadores/inspectores/técnicos de trabajo específicas con fecha?	Sí	Sí
6.1.5.3.	¿Si se realizó retrabajo, todas las operaciones adicionales están documentadas?	Sí	Sí
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: NA aplica si no se requirió retrabajo para este trabajo</i>		
6.1.6.	Equipo de procesamiento, evaluación e inspección		
6.1.6.1.	¿Todos los equipos de procesamiento, evaluación e inspección fueron calibrados y son trazables a los documentos de trabajo de las partes?	No	No
6.1.7.	Aprobación del operador		

N°	Pregunta	Respuesta 14 abril	Respuesta 26 mayo
6.1.7.1.	Listado de operador(es) que realizaron operaciones de procesamiento e inspección de lote:	Sí	Sí

6.1.7.2.	¿Los operadores e inspectores que realizaron las operaciones de procesamiento e inspección están aprobados para las operaciones que realizaron?	Sí	Sí
6.1.8.	Empaque y envío de la certificación		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si el certificado o reporte de evaluación no se levanta antes de que la auditoría finalice o si partes se mueven internamente</i>		
6.1.8.1.	¿La certificación demuestra cumplimiento a todos los requerimientos y refleja los datos según se requiere?	Sí	Sí
	<i>Si el cliente/orden de compra aceptó una desviación a la especificación/requisitos de diseño, la desviación necesita ser identificada en el Certificado de Conformidad</i>		
6.1.8.2.	Número de certificado o reporte de evaluación:		

6.1.8.3.	Fecha de certificado o reporte de evaluación:		

6.1.8.4.	¿El empaque y envío se realizó según los requerimientos definidos?	Sí	Sí
6.1.9.	Prueba de soluciones (ej.: análisis de composición de tanques)		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Si es una auditoría de trabajo histórico, revisar los resultados de composición de la solución para el periodo en que el trabajo fue procesado</i>		
6.1.9.1.	¿La prueba de la solución fue conforme a los requerimientos especificados?	Sí	Sí
6.1.10.	Pruebas periódicas		
	<i>Guía para evaluación del cumplimiento: Sección NA aplica si no se requiere realizar pruebas periódicas.</i>		
	<i>Si es una auditoría a un trabajo histórico, revisar los resultados de pruebas realizadas para el periodo en que el trabajo fue procesado. Si es una auditoría de un trabajo en proceso, revisar los resultados de pruebas periódicas realizadas para el periodo previo al cual existen resultados de procesos de control disponibles.</i>		
6.1.10.1.	(EC) Enlistar las pruebas periódicas realizadas		
	Pruebas: _____		
6.1.10.2.	¿Las pruebas periódicas requeridas fueron identificadas?	Sí	Sí
6.1.10.3.	¿Las pruebas periódicas requeridas fueron realizadas y documentadas?	Sí	Sí

7.2. ANEXO 2. FORMULARIO PROYECTOS DE MEJORA

Cuadro 16. Formulario Proyectos de Mejora.

Proyectos de Mejora		
Nombre del proyecto:		
Encargado del proyecto:		
Proceso que mejora		Fecha de Solicitud
Requiere capacitación		Documentos que cambian / o son nuevos del SGC
Alcance del proyecto:		Prioridad Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>
Objetivo del proyecto:		
Actividades del proyecto		
Evaluación del proyecto		
Riesgos y Oportunidades		
Lecciones Aprendidas del proyecto		
Resolución y Verificación		
Aceptado <input type="checkbox"/>	Aprobado por:	Fecha
Rechazado <input type="checkbox"/>	Jefe de Producción	
Verificación		
Fecha de verificación	Verificado por	Fecha

Fuente: Anodizados Internacionales S. A. 2018.

7.3. ANEXO 3. SOLICITUD DE CONFIDENCIALIDAD DE ANODISA



Anodizados Internacionales S.A.
Ced: 3-101-537928
Alto de Ochomogo, Cartago
Tel: (506)22155644

Cartago, Costa Rica

26 de octubre de 2018

A Sr.

Benjamin Pavlotzky Blank

Cláusula de confidencialidad

En el desarrollo de su tesis, titulada: "REDISEÑO DEL PROCESO DE ANODIZADO DE LA EMPRESA ANODIZADOS INTERNACIONALES S.A. PARA ACCEDER AL MERCADO AEROESPACIAL", usted tendrá acceso a los documentos del Sistema de Gestión de Calidad y producirá versiones mejoradas de los documentos existentes, así como nueva documentación. Toda esta información deberá ser tratada de forma confidencial y no puede ser parte de la publicación final.

Atentamente

RONALD
MONTERO
O
GAMBOA
(FIRMA)
Firmado digitalmente por
RONALD
MONTERO
GAMBOA
(FIRMA)
Fecha:
2018.10.26
08:21:55 -06'00'

Ronald Montero Gamboa

Gerente General

Anodizados Internacionales S.A

cc. expediente
