

**IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA DE LOS PROCESOS ELECTROLÍTICOS
DE ELECTROPULIDO Y ANODIZADO DE IMPLANTES DE 316LVM Y Ti6Al4V
ELI EN LA EMPRESA QUIRÚRGICOS ESPECIALIZADOS S.A.**

DIEGO FERNANDO DÍAZ CORONADO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008**

**IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA DE LOS PROCESOS ELECTROLÍTICOS
DE ELECTROPULIDO Y ANODIZADO DE IMPLANTES DE 316LVM Y Ti6Al4V
ELI EN LA EMPRESA QUIRÚRGICOS ESPECIALIZADOS S.A.**

DIEGO FERNANDO DÍAZ CORONADO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar
el título de Ingeniero Metalúrgico**

TUTOR:

DARÍO YESID PEÑA BALLESTEROS

MsC. PhD. Ingeniero Metalúrgico

COTUTOR:

JUAN CARLOS JAIMES ROMÁN

Médico Cirujano

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES**

BUCARAMANGA

2008

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza para seguir cada día y no desfallecer ante las dificultades que se presentan en la vida.

A mi amada madre Margarita Coronado Arias, de todo corazón por su constante esfuerzo, lucha, motivación, amor y sabios consejos que me ayudaron a alcanzar este importante logro en mi vida.

A mi abuela Adela Arias, por el apoyo, esmero y cariño.

A mis hermanos Oscar y Vanessa, por su preocupación, colaboración, tiempo y atención.

A mi amada novia Nataly Sánchez, por su inmenso amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional en cada uno de los maravillosos momentos compartidos.



AGRADECIMIENTOS

El autor presenta sus más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por acogerme y formarme como profesional, y como persona durante este proceso de aprendizaje.

Al profesor Darío Yesid Peña Ballesteros, por permitirme realizar este trabajo de grado bajo su dirección, por su colaboración, preocupación, acompañamiento, confianza y amistad que me brindó durante estos meses.

A los directivos de la empresa Quirúrgicos Especializados S.A. y al Grupo de Investigaciones en Corrosión, GJC, por darme la oportunidad de realizar esta práctica empresarial.

A Edwin Sánchez, confidente y amigo del alma que me escuchó, entendió y me dio ánimo para continuar a pesar de los impases de la vida.

A Diego Sarmiento, que ha sido un gran amigo que me ha brindado su ayuda incondicional y su constante apoyo en todo momento.

A mis compañeros por los buenos momentos compartidos, las cosas aprendidas, el tiempo y los recuerdos agradables que perduraran por muchos años.

A mis Tíos, Tías y familiares en general, por su preocupación e interés, y por estar pendientes de mí durante el transcurso y culminación de mis estudios universitarios.

Y por último a todas aquellas personas que estuvieron a mí alrededor, que creyeron siempre en mí y que fueron protagonistas en su momento en cada etapa de la historia de vida, que con una simple palabra de aliento en el momento justo me inspiraron, animaron y no me dejaron desfallecer ante los impases e infortunios que se presentan en la vida.

¡Gracias de todo corazón!



CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVO	2
2.1. OBJETIVO GENERAL	2
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	5
5.1. INFORMACIÓN GENERAL	5
5.2. RESEÑA HISTÓRICA	5
5.3. PRODUCTOS	6
6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
6.1. PROCESOS ELECTROLÍTICOS	8
6.1.1. Electropulido	9
6.1.1.1. Baños de duración indefinida	10
6.1.1.2. Baños de vida limitada	10
6.1.1.3. Equipo y proceso a escala Industria	11
6.1.2. Anodizado	11
6.2. ACERO INOXIDABLE 316LVM	12
6.3. ALEACIÓN DE Ti6Al4V ELI	13
7. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	16
8. PRUEBAS REALIZADAS	17

8.1. PRIMERA ETAPA	17
8.2. SEGUNDA ETAPA	17
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
10. CONCLUSIONES	38
11. RECOMENDACIONES	39
12. BIBLIOGRAFÍA	40

LISTADO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Montajes realizados: a) Celda cilíndrica fabricada con tubo de PVC y b) Celda cuadrada resistente a la mezcla de ácidos utilizada.	19
FIGURA 2. Distribución del espacio y dirección de flujo de los procesos de anodizado y de electropulido en la planta de producción.	25
FIGURA 3. Diseños de la celda de prueba en PVC: a) Diseño de la celda y b) Diseño del cátodo.	27
FIGURA 4. Celdas utilizadas: a) Celda cilíndrica de material cerámico, b).Celda rectangular de material polimérico y c) Celda cilíndrica de PVC.	27
FIGURA 5. Tornillos Transpediculares de Ti6Al4V ELI: a) Algunos de los tornillos en su estado inicial y b) Algunos de los tornillos anodizados.	33
FIGURA 6. Diseño de las piezas utilizadas en los ensayos realizados para electropulido: a) Tornillo Cortical, b) Tornillo de Bloqueo rosca parcial, c) Tornillo de Compresión Estándar y d) Tornillo Esponjoso.	34
FIGURA 7. Piezas de Titanio utilizadas para ubicar las piezas de trabajo dentro de la solución electrolítica para electropulido y anodizado.	34

- FIGURA 8.** Canasta fabricada en acero inoxidable AISI 304. 34
- FIGURA 9.** Diseño de soportes en Titanio para sujeción de las piezas dentro de la solución electrolítica: a) Barra hexagonal y b) Tornillo de Compresión Estándar. 37

LISTADO DE TABLAS

	Página
TABLA 1. Composición de la aleación según norma ASTM F138-03.	13
TABLA 2. Propiedades mecánicas y físicas de la aleación de acero inoxidable 316LVM.	13
TABLA 3. Composición de la aleación según norma ASTM F136-02.	14
TABLA 4. Propiedades mecánicas y físicas de la aleación Ti6Al4V ELI.	15
TABLA 5. Dimensiones y características de las celdas utilizadas.	28
TABLA 6. Rangos de trabajo para el proceso de electropulido.	29
TABLA 7. Rangos de trabajo para el proceso de anodizado.	32
TABLA 8. Propiedades Físicas de piezas estándar utilizadas en electropulido.	35

LISTADO DE ANEXOS

	Página
ANEXO A. Protocolo y Procedimiento de Electropulido de Acero Inoxidable 316LVM (Biocompatible).	42
ANEXO B. Protocolo y Procedimiento de Anodizado de Aleaciones de Titanio (Ti6Al4V ELI).	43

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA DE LOS PROCESOS ELECTROLÍTICOS DE ELECTROPULIDO Y ANODIZADO DE IMPLANTES DE 316LVM Y Ti6Al4V ELI EN LA EMPRESA QUIRÚRGICOS ESPECIALIZADOS S.A.*

AUTOR: DÍAZ CORONADO, Diego Fernando**

PALABRAS CLAVES: Electropulido, anodizado, AISI 316LVM, Ti6Al4V ELI, protocolos y procedimientos.

CONTENIDO: Quirúrgicos Especializados S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de implantes quirúrgicos y sus equipos asociados. Durante su evolución ha mostrando interés por los avances que mejoran y aumentan la productividad de sus procesos, por esta razón ha establecido convenios con la Universidad Industrial de Santander en conjunto con Colciencias y el Grupo de Investigaciones en Corrosión (GIC) para estudiar y evaluar los nuevos procesos que se han venido desarrollando e implementando en la industria de la fabricación de implantes para cirugía traumática con la finalidad de entrar a competir en un mercado un poco más amplio y exigente a nivel nacional.

El propósito de este proyecto es dar un primer paso en la implementación de los procesos electrolíticos del GIC a la empresa y elaborar los protocolos y procedimientos para cada uno de ellos. Los procesos de interés en este trabajo son el electropulido de acero inoxidable AISI 316LVM y el anodizado de la aleación de Ti6Al4V ELI. El desarrollo se hace a nivel planta piloto para algunas piezas de la línea de producción. Este trabajo de grado se realizó bajo el marco del proyecto titulado: "Desarrollo de recubrimientos anodizados y bioactivos mediante métodos electroquímicos sobre materiales utilizados en cirugía traumática".

Los ensayos realizados en las instalaciones de la empresa permitieron implementar a escala planta piloto el proceso de electropulido de acero inoxidable para los siguientes tipos de piezas: Tornillo Cortical, Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial, Tapón de Compresión Estándar y Tornillo Esponjoso, para el caso del anodizado de la aleación de Titanio el tipo de pieza es el tornillo transpedicular, para estos tipos de pieza se logró establecer los rangos de trabajo para cada proceso. Además de esto también se establecieron los equipos necesarios para la realización del proceso y sus características principales.

* Trabajo de Grado. Modalidad práctica empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Darío Yesid Peña Ballesteros

SUMMARY

TITLE: METHODOLOGICAL IMPLEMENTATION OF THE ELECTROLYTIC PROCESS OF ELECTROPOLISHING AND ANODIZING OF 316LVM AND Ti6Al4V ELI IMPLANTS FOR THE COMPANY QUIRÚRGICOS ESPECIALIZADOS S.A.*

AUTHOR: DÍAZ CORONADO, Diego Fernando**

KEYWORDS: Electropolishing, anodizing, AISI 316LVM, Ti6Al4V ELI, protocols and procedures.

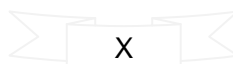
CONTENT: Quirúrgicos Especializados S.A. is a company dedicated to the manufacturing and commercialization of surgical implants and its related equipment. During the company's evolution, they have shown interest in technological development that improves their process' productivity; that is why they have made agreements with the Universidad Industrial de Santander along with Colciencias and the Corrosion Investigation Group (CIG) to study and evaluate the new processes that they have been developing and implementing in the industry of implants manufacturing for traumatic surgery with the purpose of competing in a broader and demanding market at a national level.

The purpose of this project is to give a first step in the implementation of CIG electrolytic processes to the company and elaborate protocols and procedures for each one of them. The processes of interest in this project are the electropolishing of AISI 316LVM stainless steel and the anodizing of the Ti6Al4V ELI alloy. The development is done at a pilot plant level to some of the pieces of the production line. This work of degree was done under the frame named: "Development of anodized and bioactive coverings through electrochemical methods of materials used in traumatic surgery."

The different tests done in the premises of the company allowed us to implement, on a pilot plant scale, the electropolishing process of stainless steel for the following types of pieces: Cortical screw, half-threaded partial screw, standard compression top and spongy screw. For the anodizing of the titanium alloy, the type of piece is the transpedicular screw. For these two types of pieces it was possible to establish the ranks of work for each process. In addition to this, the necessary equipment for the realization of the process and its main characteristics was established.

* Work of Degree. Enterprise practical modality.

** Faculty of Physical-chemistries Engineerings, Metallurgical Engineering School and Materials Science, Director: Dario Yesid Peña Ballesteros



1. INTRODUCCION

En el desarrollo e innovación del sector industrial y empresarial, la adquisición y mejoramiento de los procesos que realiza una empresa es un factor muy importante que indica el posicionamiento y el interés por cumplir con los estándares y la normatividad que involucra cada una de las actividades y procesos que se realicen en ésta, incluyendo el sistema de gestión de calidad. Por eso es muy importante que las empresas dedicadas a la fabricación de implantes quirúrgicos busquen nuevas tecnologías y otras alternativas que les permitan ofrecer un producto con las mejores propiedades y características por medio de la investigación y desarrollo de nuevos y mejores procesos que presenta esta área de la industria.

Con la implementación de estos nuevos procesos se busca entrar a competir en un mercado más amplio y exigente en el que es muy importante la optimización e innovación en los procesos, garantizando tiempos de entrega cortos y calidad en los productos que se ofrecen a los clientes, ya que las piezas electropulidas y anodizadas presentan unas propiedades superficiales diferentes a las que poseen las piezas pulidas por medio de métodos convencionales de pulido como lo es el pulido mecánico, y también se amplía la gamma de productos en cuanto a color y textura en el caso del anodizado de aleaciones de Titanio haciendo que sus productos sean más llamativos y demandados por los clientes.

Con este trabajo se busca dar el primer paso en la implementación de estos procesos electrolíticos, partiendo de los resultados reportados en investigaciones a nivel de laboratorio realizados por el GIC para los procesos electrolíticos de electropulido de 316LVM y anodizado de Ti6Al4V ELI, estableciendo las condiciones de operación y los rangos de trabajo para un determinado tipo de piezas, y elaborando los protocolos y procedimientos necesarios para llevar a cabo dichos procesos estableciendo la metodología que permita que éstos sean implementados, mejorados y entren a hacer parte de la línea de proceso en la planta de producción de la empresa.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar los procesos de electropulido y anodizado de 316LVM y Ti6Al4V ELI en la planta de producción de la empresa Quirúrgicos Especializados S.A. con base en los resultados obtenidos a nivel experimental en el laboratorio del GIC.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Escalar a nivel planta piloto los resultados obtenidos de electropulido y anodizado en el GIC a la empresa Quirúrgicos Especializados S.A. para un determinado tipo de piezas.
- Elaborar los protocolos y procedimientos de los procesos de electropulido y anodizado de material quirúrgico de la empresa Quirúrgicos Especializados S.A. de acuerdo a la norma NTC ISO 9001:2000.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Quirúrgicos Especializados S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de sistemas de implantes quirúrgicos y suministro de sus equipos asociados, durante su evolución y constante cambio ha venido interesándose por las nuevas tecnologías que hacen más óptimos y productivos los procesos, debido a esta necesidad y al permanente cambio que se ha venido presentando en cuanto al suministro e innovación de nuevos y mejores productos, se hace necesario tener un proceso de tratamiento de superficies acorde a las exigencias del mercado para poder competir y sobresalir a nivel nacional e internacional, reduciendo tiempos de producción y aumentando la productividad y calidad de sus productos. Para suplir dichos requerimientos es fundamental incorporar y adecuar los procesos electrolíticos de electropulido de acero inoxidable 316LVM y de anodizado de aleaciones de Titanio Ti6Al4V ELI.

Quirúrgicos Especializados S.A. actualmente no cuenta con la metodología necesaria para la realización de los procesos electrolíticos de electropulido de acero quirúrgico y para el anodizado de aleaciones de Titanio, por tal motivo el alcance de este proyecto será la implementación a escala planta piloto de cada uno de los procesos anteriormente nombrados.

4. JUSTIFICACIÓN

La industria, a la par que nuestra población, está creciendo aceleradamente, requiere por lo tanto más productos y nuevos materiales, de mejor calidad, con un óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y con pleno respeto ecológico.

Este proyecto tiene como propósito general dar un primer paso en la implementación de los procesos electrolíticos del GIC a la empresa Quirúrgicos Especializados S.A., buscando la mejora y optimización de los procesos de acabado superficial de las piezas producidas en la planta de fabricación de la empresa. La implementación metodológica de estos procesos se realizará bajo el marco del proyecto Colciencias-Quirúrgicos Especializados S.A.-UIS: “Desarrollo de recubrimientos anodizados y bioactivos mediante métodos electroquímicos sobre materiales utilizados en cirugía traumática”. La empresa Quirúrgicos Especializados S.A. ha iniciado un proceso de implementación de la norma NTC ISO 9001:2000 en el cual ya ha avanzado en un 70%. En este marco y orden de ideas, la incorporación de nuevos procesos debe contar con los protocolos y procedimientos debidamente descritos y desarrollados aplicando las políticas de mejora continua y con base en los parámetros de gestión de calidad que sugiere dicha norma.

5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

5.1. INFORMACIÓN GENERAL

NOMBRE: Quirúrgicos Especializados. S.A.

DIRECCIÓN: Oficinas: Calle 35 # 24 - 11

Tel: 6459996

Producción: Bulevar Bolívar 15 - 48

Tel: 6713986

MUNICIPIO: Bucaramanga

DEPARTAMENTO: Santander

5.2. RESEÑA HISTÓRICA

Quirúrgicos Especializados S.A., fue concebida en Septiembre de 1995, por siete empresarios jóvenes relacionados con el área de la salud. Surgió como respuesta a la necesidad que existía en el mercado de suministrar Implantes de Osteosíntesis, época en la cual la mayor parte de la población Colombiana no estaba cubierta por el plan de seguridad social obligatorio o subsidiado; además estos planes cubrían parcialmente dichos implantes.

Fue constituida legalmente como sociedad limitada, el 19 febrero de 1996 con un aporte de capital de diez millones de pesos, iniciando como subdistribuidora de la firma "Distribuciones Múltiple" de Medellín, con una representación de la firma "Smith & Nephew Richards", operando con tres personas. Los tres primeros años de operación no fueron fáciles, pues entrar a competir en un mercado monopolizado por dos firmas, con un limitado presupuesto, tomó mucha dedicación. Cabe destacar que dos compañías que ingresaron a competir en ese mismo periodo, entraron prontamente en liquidación pues no soportaron las condiciones del mercado. El segundo año de operación, la empresa traslada sus actividades a la casa del Gerente como estrategia para no desaparecer.

En el año 2000 pensando en abrirse al mercado de capitales y conseguir fuentes de financiación de largo plazo, fue transformada en sociedad anónima. Hasta 2001 operó como subdistribuidor de reconocidas marcas a nivel mundial. A partir de ese año, manteniendo el propósito con el cual fue concebida inició con la representación de firmas internacionales de reconocida trayectoria pero sin presencia en el país.

Actualmente la empresa tiene una sede propia en la ciudad de Bucaramanga con aproximadamente 450 metros cuadrados y su planta de personal es de quince personas. Atiende Clientes en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Atlántico, Magdalena y Cesar.

5.3. PRODUCTOS

Quirúrgicos Especializados S.A. actualmente fabrica la siguiente gama de productos:

- Implantes de trauma:
 - Tornillos (corticales, esponjosos, maleolares, canulados).
 - Placas (DCP, de elongación, de bajo contacto, de formas especiales).
 - Accesorios como: Arandelas, Pines, clavos, alambres.
 - Clavos Intra medulares Bloqueados rimados y no rimados.
- Fijación externa: Fijadores externos, transportadores, alargadores óseos.
- Sistemas de placas D.H.S y D.C.S.
- Sistemas de fijación de Columna: Fijaciones transpediculares, Fijaciones Toracolumbares por vía anterior.
- Sistemas de reconstrucción de tejidos blandos articulares: Tornillos de interferencia, anclajes y suturas de hombro.

Cada uno de los anteriores implantes tiene sus respectivos instrumentales y accesorios, los cuales también vienen a ser parte de los productos fabricados directamente por la empresa.

Cabe resaltar que los productos anteriormente nombrados hacen parte de un amplio portafolio de productos y servicios que maneja la empresa Quirúrgicos Especializados S.A., donde varios de sus productos son actualmente importados.

6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los biomateriales son sustancias no farmacológicas apropiadas para su inclusión en el cuerpo humano en sistemas que ayudan o sustituyen funciones de los órganos y tejidos corporales.

Entre los biomateriales metálicos están: los alambres para fijación, los clavos los tornillos, las placas y las endoprótesis de articulaciones, entre otros. Estos implantes se diferencian entre sí por el tiempo que permanecen en el cuerpo. Las placas, los tornillos y los alambres se retiran una vez se halla curado la fractura. De las endoprótesis, en cambio, se exige una función permanente y exenta de fallos: deben tener alta resistencia mecánica y química. En estos casos, se exige a los implantes una resistencia a la corrosión especialmente alta en el líquido biológico del cuerpo humano.

Muchos investigadores han estudiado el efecto determinante que tiene la topografía superficial del implante sobre el comportamiento electroquímico y mecánico en corrosión, fatiga, bajo esfuerzos y bajo desgaste y han llegado a la conclusión de que lo conveniente es proveer al material una superficie pasiva protectora, ya sea otorgándole al material una superficie pasiva con óxidos protectores o una superficie brillante obtenida por disolución anódica con una consecuente formación de película protectora pasiva, producida durante el proceso de limpieza y abrillantado.

6.1. PROCESOS ELECTROLÍTICOS

Los procesos electrolíticos son aquellos en los que por medio de una corriente eléctrica se descompone una sustancia sólida en disolución para su posterior uso.

Los circuitos electrolíticos están formados por cuatro elementos básicos:

- Fuente de voltaje y corriente.
- Ánodo (parte positiva del circuito).
- Cátodo (parte negativa del circuito).
- Electrolito (medio líquido que cierra el circuito eléctrico entre ánodo y cátodo).

Los tratamientos electrolíticos de manera general se pueden resumir en tres tipos principales:

- Electropulido.
- Recubrimiento metálico electrolítico.
- Recubrimiento por oxidación electrolítica (anodizado).

El fundamento de todos ellos consiste en la introducción de las piezas metálicas en un baño compuesto por determinados productos (electrolito) y por el que, al circular una corriente eléctrica continua, produce reacciones electroquímicas controladas que consiguen variar la superficie metálica para dotarla de propiedades deseadas.

6.1.1. Electropulido

Es un tratamiento superficial en el cual el metal a electropulir actúa como ánodo en una celda electrolítica donde su disolución involucra una reacción electroquímica que permite proporcionar una superficie pulida, brillante y reflexiva. Por medio de la aplicación de corriente que se efectúa en este proceso se forma una película polarizada en la superficie metálica de la pieza tratada permitiendo que difundan los iones a través de ella. Los valles y crestas de la superficie rugosa son áreas de mayor densidad de corriente que el resto de la superficie lo cual hace que se disuelvan a mayor velocidad dando lugar a una superficie más lisa y simultáneamente, manteniendo controlada la intensidad de corriente y temperatura, se obtiene un abrillantamiento de la superficie metálica.^[1]

En el caso particular del acero inoxidable, se tiene además del acabado superficial y el brillo, la ventaja que gracias a que el hierro se disuelve fácilmente el contenido de cromo y níquel en la superficie de éste se incrementa aumentando así la resistencia a la corrosión de la superficie del metal electropulido.

El contorno de una superficie maquinada se puede asimilar a crestas y valles a escala microscópica y muchas de las características de esta superficie dependen de los métodos utilizados para obtenerla. A escala microscópica, la superficie es más compleja, con pequeñas irregularidades sobrepuestas a las crestas y valles.^[13]

Las funciones ideales que debe cumplir un proceso de pulido para producir una superficie realmente lisa son las de eliminar tanto las irregularidades microscópicas como las irregularidades microscópicas. A continuación se pueden distinguir las dos etapas que ocurren en el proceso de electropulido:

- Alisado: Que es la eliminación de las irregularidades a gran escala (irregularidades con tamaño superior a $1\mu\text{m}$). El alisado de la superficie anódica no siempre produce un incremento en el brillo en la superficie electropulida.
- Abrillantado: Que es la remoción de pequeñas irregularidades (irregularidades de un tamaño inferior a $0,01\mu\text{m}$).

6.1.1.1. Baños de duración indefinida

Estos baños duran indefinidamente porque las sales metálicas formadas durante el electropulido se depositan como barro, o el metal eliminado en el ánodo se deposita en el cátodo en forma poco adherente.

6.1.1.2. Baños de vida limitada

Las sales metálicas disueltas quedan en la solución por lo que debe ser periódicamente decantada y reemplazada una parte de la solución por otra nueva.

La concentración de los baños suele ser una mezcla de ácidos concentrados, entre los que encuentran principalmente: el ácido fosfórico, el ácido sulfúrico, el ácido perclórico, el ácido crómico, entre otros.

6.1.1.3. Equipo y proceso a escala Industrial

El equipo y la disposición para el proceso de electropulido a nivel industrial generalmente pueden llegar a parecerse a las instalaciones para electrorecubrimientos, pero con unos cuantos requisitos especiales:

- Las densidades de corriente son más elevadas, por lo tanto la barra conductora y la estructura de los soportes deben ser más resistente, más grueso y el contacto del soporte a la barra debe ser firme.
- Los refuerzos de los tanques del baño de electropulido son más gruesos y resistentes porque estos baños son más densos que los utilizados para depósitos electrolíticos.
- La contaminación y las impurezas son un problema mucho menor.
- Por lo general la conductividad del baño es menor, de manera que los voltajes son mayores, y el efecto de calentamiento es más grande.

6.1.2. Anodizado

El proceso de anodizado es un tratamiento de oxidación controlada que se le efectúa a una superficie metálica, con el fin de mejorar sus características de protección y su apariencia. Este proceso consiste básicamente en obtener de manera artificial películas de óxido sobre la superficie del metal tratado, con un mayor espesor y con mejores características de protección, que las capas que se forman naturalmente en la superficie de los metales.

La capa protectora se puede obtener de dos formas, mediante procesos químicos o mediante procesos electrolíticos, en este último el oxígeno producido por la

electrolisis del agua es utilizado para oxidar el ánodo. Para que haya una formación y crecimiento uniforme de la capa de óxido en la superficie de la pieza es necesario que el cátodo tenga por lo menos el doble del área del ánodo, es decir del área de la pieza, para que haya una cobertura total de la superficie de esta.

Los electrolitos que se utilizan en este proceso pueden ser ácidos o bases diluidos, los comunes y usados para anodizar el Titanio y sus aleaciones son el ácido sulfúrico, el ácido fosfórico, el ácido acético y el hidróxido de sodio.

6.2. ACERO INOXIDABLE 316LVM

El acero inoxidable 316LVM es un material que combina buenas propiedades mecánicas con razonables biocompatibilidad in vitro y tolerancia in vivo, por lo que es muy utilizado el área de la medicina para la fabricación de implantes temporales en cirugía traumática. También estos implantes también son muy utilizados debido a su óptima dureza y maleabilidad, características que permite moldearlo y doblarlo con relativa facilidad por medio de técnicas sencillas, adicional a esto, esta aleación tiene un bajo costo y es de fácil mecanización lo que lo hace muy propicio para la fabricación de una gran variedad de componentes para implantes.

Estos aceros inoxidables tienen buena ductilidad en condiciones de trabajado en frío. Sus aplicaciones incluye: alambre de suturas, cables ortopédicos, grapas para suturas de piel, catéteres, pines óseos y muchas partes maquinadas pequeñas.^[10]

Este tipo de acero hace parte de la familia de los aceros inoxidables austeníticos, cuya composición contiene níquel el cual estabiliza la fase austenita a temperatura ambiente y que junto con el cromo incrementan la resistencia a la corrosión de dicho acero.

La composición de este tipo de acero inoxidable se puede observar en la tabla 1.

DESIGNACIÓN	COMPOSICIÓN (% en peso máximo)										
	C	Cr	Ni	Mn	P	S	Si	Mo	N	Cu	Fe
ASTM F138	0,030	17-19	13-15	2,00	0,025	0,010	0,75	2,25-3,0	0,10	0,50	Balance

Tabla 1. Composición de la aleación según norma ASTM F138-03 [6]

A continuación se presentan algunas de las propiedades mecánicas y físicas del acero inoxidable 316LVM.

PROPIEDAD	VALOR
Conductividad térmica	16,3 W/m.K
Densidad	5,18 g/cm ³
Dureza Vickers	136 HV
Dureza Rockwell C	30 HRC
Módulo de elasticidad	192,36 GPa
Relación de Poisson	0,3
Resistividad eléctrica volumétrica	74 $\mu\Omega$.cm

Tabla 2. Propiedades mecánicas y físicas de la aleación de acero inoxidable 316LVM [4] y [8]

6.3. ALEACIÓN DE Ti6Al4V ELI

Esta aleación de Titanio se utiliza para la fabricación de implantes temporales y permanente para implantación en seres humanos, con la composición que especifica la norma ASTM F136. Este material ha sido clasificado como un material bioinerte o biológicamente inerte y no induce reacciones alérgicas al cuerpo humano.

La aleación Ti6Al4V posee características importantes para su adecuado desempeño como implante, como lo son: la resistencia a la corrosión, la inmunidad, la alta tenacidad, buen comportamiento a altas temperaturas, la capacidad de modificar sus propiedades mediante tratamientos superficiales, el bajo modulo de elasticidad y la baja densidad, características que se asemejan al tejido óseo, en cuanto a su comportamiento mecánico. [6,7]

Las siglas 'ELI' hacen referencia a 'Extra Low Intersticial' que indica que la aleación tiene una presencia muy baja de elementos intersticiales. En esta aleación el contenido extra bajo de elementos intersticiales, especialmente del hierro y del oxígeno, proporcionan un incremento de la ductilidad y refuerzan algunas propiedades a temperaturas criogénicas. [9]

La composición de esta aleación de Titanio se puede observar en la tabla 3.

DESIGNACIÓN	COMPOSICIÓN (% en peso máximo)							
	C	O	H	N	Fe	Al	V	Ti
ASTM F136	0,08	0,13	0,012	0,05	0,25	5,5-6,5	3,5-4,5	Balance

Tabla 3. Composición de la aleación según norma ASTM F136-02 [5]

A continuación se pueden observar algunas de las propiedades mecánicas y físicas importantes de la aleación Ti6Al4V ELI.

PROPIEDAD	VALOR
Conductividad térmica	7,2 W/m.K
Densidad	4,42 g/cm ³
Dureza Vickers	341 HV
Dureza Rockwell C	30 HRC
Módulo de elasticidad	113,8 GPa
Relación de Poisson	0,342
Resistividad eléctrica volumétrica	170 Ω .cm
% Elongación	15 %

Tabla 4. Propiedades mecánicas y físicas de la aleación Ti6Al4V ELI [10]

7. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Una vez conocidas las instalaciones de la planta de producción, los productos que se fabrican allí, los equipos que utilizan y las políticas de calidad de la empresa, se observó que el proceso de pulido de las piezas se llevaba a cabo de manera mecánica, es decir, el brillo y acabado superficial de los implantes quirúrgicos fabricados en 316LVM se obtenía por medio de pulido mecánico y que el anodizado de las aleaciones de Titanio se llevaba a cabo de manera empírica, pues el conocimiento del tema en cuanto a condiciones de operación se obtenía ensayando con una pieza del mismo material que se iba a procesar y buscando el color que se quería obtener, es decir, no se tenía documentado dicho proceso y no se contaba con una metodología establecida para llevarlo a cabo.

Luego de este primer diagnóstico y de una adecuada recopilación de información concerniente a las materias primas de la empresa, los procesos electrolíticos de interés, los estudios realizados en el laboratorio del Grupo de Investigaciones en Corrosión (GIC) en el proyecto Colciencias-Quirúrgicos Especializados S.A.- UIS denominado: “Desarrollo de recubrimientos anodizados y bioactivos mediante métodos electrolíticos sobre materiales utilizados en cirugía traumática”.

Se determinó la prioridad de cada proceso dentro de la planta, llegando a la conclusión de que el proceso de electropulido de acero inoxidable biocompatible 316LVM es el más necesario e indispensable, ya que el anodizado de aleaciones de Titanio se hace prácticamente por encargo y que no es un proceso continuo dentro de las actividades diarias de la planta de producción, pero para éste último también es necesario realizar la implementación metodológica, para que cuando entre como proceso a la línea de producción de la planta, se realice conforme se encuentra estipulado en las políticas de calidad de la empresa y para que el proceso de llevarlo a nivel industrial sea poco más sencillo.

8. PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas que se llevaron a cabo en el desarrollo experimental de este trabajo se pueden dividir en dos etapas:

8.1. PRIMERA ETAPA

En la primera etapa se realizó el diagnóstico inicial, la recopilación y la revisión de la documentación necesaria, se procedió a reproducir los mejores resultados que se obtuvieron en las investigaciones realizadas a nivel de laboratorio sobre los procesos electrolíticos de interés provenientes de la información bibliográfica, luego se realizaron ensayos preliminares de escalamiento con piezas defectuosas de la línea de fabricación de la empresa a temperatura ambiente. En esta primera etapa se estableció el rango máximo de trabajo para cada proceso, es decir, las corrientes y voltajes máximos y mínimos que se pueden necesitar posteriormente cuando el proceso sea ampliado, con base en el tamaño máximo, las características finales y la producción mensual de cada pieza. Además se seleccionaron los equipos necesarios y la disposición geométrica de las celdas electrolíticas. También se solicitó la adecuación del espacio disponible y se distribuyó de tal forma que no se perdiera la continuidad en la línea de proceso. En esta etapa también se gestionó la compra de los equipos, los materiales y los reactivos necesarios para llevar a cabo los ensayos a escala planta piloto.

8.2. SEGUNDA ETAPA

En la segunda etapa se realizaron los ensayos a escala planta piloto, en los que inicialmente se utilizó material defectuoso que había sido rechazado por deformación plástica, defectos y problemas en el maquinado como: rotura, inclusión de brochas y proceso de maquinado incompleto. Estas piezas básicamente fueron usadas para determinar el material más adecuado que se podía utilizar para el soporte de las piezas de trabajo dentro del proceso, se hicieron las pruebas con los

materiales que se tenían en la planta de producción de la empresa. Los siguientes materiales fueron los que se ensayaron: aceros inoxidables 304, 316L, 316LVM y aleación de Titanio (Ti6Al4V ELI) para ambos procesos electrolíticos.

En ensayos posteriores se utilizaron las piezas defectuosas que habían sido rechazadas por tolerancia dimensional, es decir, por no estar dentro del rango de tamaño establecido por cada cliente. Con estas piezas se realizaron pruebas enfocadas a determinar los rangos de trabajo para el proceso de electropulido para algunas de las piezas que produce la empresa, que en general fueron tornillos pequeños (de 3,5; 4,5 y 5,0 mm) entre los que se encontraban tornillos de bloqueo, tornillos esponjosos, tornillos corticales y tapones de compresión que fueron los más grandes que se ensayaron. Los tornillos que se ensayaron hacen parte de las piezas que se fabrican en mayor cantidad y con más frecuencia en las instalaciones de la planta de la empresa. Para el proceso de anodizado se utilizaron únicamente tornillos transpediculares, ya que solamente se contaba con este tipo de piezas defectuosas para la realización de los ensayos. Estos últimos ensayos también se realizaron con la finalidad de establecer el procedimiento más propicio para la correcta realización de cada uno de los procesos electrolíticos de importancia en este trabajo.

Para llevar a cabo estos ensayos a escala planta piloto fue necesario comprar los siguientes materiales y equipos:

- Fuente rectificadora DC (de 0-50 amperios y de 0-50 voltios).
- Material para fabricación de celda para pruebas (tubos de PVC).
- Ácido ortofósforico al 85% pureza reactivo analítico.
- Ácido sulfúrico al 96% pureza reactivo analítico.
- Conectores, caimanos y cables resistentes a altas corrientes.
- Guantes de nitrilo tipo industrial.

Los demás materiales necesarios ya se tenían dentro de las instalaciones de la empresa como probetas, mascara para gases, gafas de seguridad, embudos, vasos de precipitado, multímetro, pinzas y reactivos para limpieza y desengrase.

Algunos de los montajes realizados se muestran a continuación:

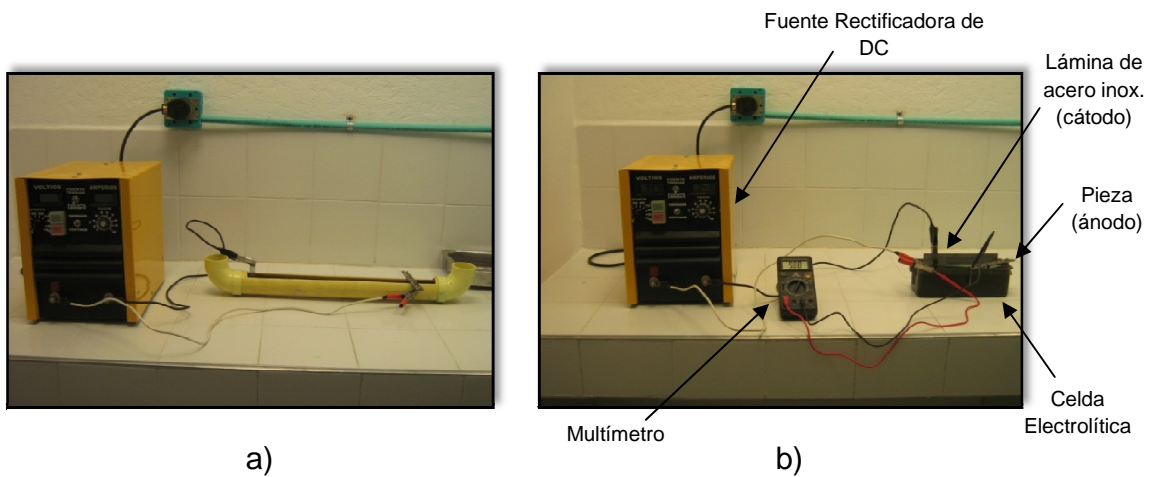


Figura 1. Montajes realizados: a) Celda cilíndrica fabricada con tubo de PVC y b) Celda cuadrada resistente a la mezcla de ácidos utilizada.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la primera etapa los ensayos se realizaron en las instalaciones del GIC en los laboratorios de Guatiguará, después de varios diseños experimentales se logró llegar a unos resultados satisfactorios y similares a los reportados en la bibliografía consultada, las condiciones superficiales finales que se obtuvieron fueron buenas para la empresa que en ese momento aun tenía sus dudas en cuanto a la veracidad y efectividad que presentaba el proceso de pulido electroquímico de acero inoxidable 316LVM, en cuanto a las condiciones finales a las que se podía llegar con dicho proceso.

En cuanto al proceso de anodizado de Ti6Al4V ELI por ser un proceso un poco más sencillo se obtuvieron buenos resultados en los primeros ensayos realizados. Este proceso como ya se había realizado dentro de las instalaciones de la empresa ya se tenía la confianza y la seguridad de que realmente se podía llevar a cabo y obtener resultados satisfactorios con mucha facilidad.

Con base en el estudio del proceso a nivel de laboratorio, las pruebas realizadas en esta primera etapa, el espacio disponible, el consumo y costo de reactivos, y las condiciones de trabajo para cada proceso, se determinaron los equipos y las características que éstos necesitan para la implementación de los procesos de electropulido y anodizado en la planta de fabricación de la empresa.

Los equipos y materiales necesarios para la implementación de dichos procesos electrolíticos son los siguientes:

- Un lavador ultrasónico industrial con ciclo completo de lavado. El tamaño de este equipo se debe seleccionar con base en la geometría, las dimensiones y cantidad de piezas de mayor tamaño que se piensen fabricar y procesar a futuro en la planta producción de empresa.

- Una fuente rectificadora DC con las siguientes características:
 - Alimentación de 220 Voltios AC.
 - Salida graduable de 0 a 50 Voltios DC.
 - Salida graduable de 0 a 50 Amperios.
 - Sensibilidad de $\pm 0,1$ voltios y de $\pm 0,1$ Amperios.
 - Dos display indicadores de 4 dígitos (uno para corriente y otro para voltaje).
 - Switch para selección del modo de operación (corriente o voltaje)
 - Temporizador.
 - Switch para operación continua o temporizada.
 - Perilla para graduar la salida de corriente o voltaje según el modo de operación.
 - Botón de “start” para iniciar el proceso (botón color verde).
 - Botón de seguridad para parar de emergencia o para detener el proceso (botón color rojo).
 - Bornes de color rojo y negro para suministro de energía al proceso.

Nota: Este equipo sirve para hacer anodizados que únicamente necesiten un voltaje que se encuentre entre 0 y 50 voltios, estos dos procesos difieren un poco entre sí, en el proceso de electropulido desarrollado en el GIC se trabajó con altas corrientes, y el proceso de anodizado desarrollado por ese mismo grupo, se trabaja con voltajes que van de 0 a 115 V según el tipo de solución que se utilice, y el espesor de capa que se desee obtener.

Este equipo es uno de los que fue seleccionado para la implementación final del proceso y que finalmente hará parte del mismo una vez se haya implementado en la empresa.

- Celdas para electropulido:
 - Para clavos y placas: forma cilíndrica ubicada verticalmente, con cátodo en lámina de acero inoxidable AISI 304 alrededor de las paredes con la misma forma de la celda y con sistema de desagüe.

- Para tornillos: forma rectangular ubicado horizontalmente, con cátodo en lámina de acero inoxidable AISI 304 alrededor de las paredes con la misma forma de la celda y con sistema de desagüe.

Las dimensiones de cada tipo de celda se deben seleccionar con base en el consumo mínimo de reactivos que permita obtener los mejores resultados, las dimensiones y la cantidad máxima de piezas a procesar.

- Celda para anodizado:
 - Para clavos y placas: forma cilíndrica ubicada verticalmente, con cátodo en lámina de acero inoxidable AISI 304 alrededor de las paredes con la misma forma de la celda y con sistema de desagüe.
 - Para tornillos: forma rectangular ubicado horizontalmente, con cátodo en lámina de acero inoxidable AISI 304 alrededor de las paredes con la misma forma de la celda y con sistema de desagüe.

Las dimensiones de cada tipo de celda se deben seleccionar con base en el consumo mínimo de reactivos que permita obtener los mejores resultados, las dimensiones y la cantidad máxima de piezas a procesar.

- Una cámara extractora de gases que permita una buena movilidad al operario. Este equipo es muy importante ya que los vapores y los gases que desprenden los ácidos utilizados en la preparación de la solución y las reacciones que ocurren en el interior de la celda electrolítica durante el proceso son perjudiciales, potencialmente peligrosos, y en el caso particular del hidrógeno producido en el cátodo de la celda, son explosivos por lo que pueden causar cuantiosos daños tanto al personal como al entorno. Con el fin de minimizar los riesgos y propiciar un ambiente de trabajo seguro es necesario contar con este equipo ya que se debe cumplir con la normatividad relacionada con este tipo de actividades en las que se manipulan ácidos y

bases fuertes, y en las que durante el desarrollo del proceso se producen gases explosivos y muy volátiles.

Este equipo debe ser seleccionado con base en el tamaño de final de cada celda electrolítica, el espacio necesario para el desarrollo de cada proceso y el espacio útil mínimo necesario para preparar la solución electrolítica de cada proceso.

- Una plancha de calentamiento para ubicar el baño de sellado para el anodizado de aleaciones de Titanio y un recipiente resistente al calor para el baño. Esta debe ser graduable y que permita mantener constante la temperatura en el rango necesario para la realización del sellado.
- Un pHmetro/conductivímetro para monitoreo de la conductividad y acides de la solución de electropulido y de la solución de anodizado. Es importante que este equipo además de medir pH y conductividad en líquidos, también mida temperatura, ya que es necesario mantener el baño de sellado para el anodizado de Titanio a una temperatura entre 80 y 85°C.
- Una estufa eléctrica para secado, debe llegar por lo menos hasta 115°C, con indicador y con control de temperatura.
- Reactivos: ácido ortofosfórico al 85% y ácido sulfúrico al 96% en peso, pureza reactivo analítico. Estos reactivos se deben tener almacenados en una mínima cantidad, y bajo las condiciones de seguridad que requieran, tanto para su almacenamiento como para su manipulación.
- Equipo de seguridad industrial para manejo de reactivos, protección contra gases para el operario e indumentaria adecuada para este tipo de procesos en los que se manipulan reactivos y componentes eléctricos que generan altas corrientes.

En cuanto a la adecuación y distribución del espacio existente en la planta para dichos procesos se fabricó un mesón fundido en concreto reforzado de 0,7m de ancho y 0,10m de espesor en forma de "L", en donde se ubicarán los equipos

correspondientes a cada proceso, en un orden y secuencia determinados (ver figura 2), se necesitará una toma de agua, tres tomas eléctricas (una de 220 V, una trifásica y una de 115 V) y un gabinete con divisiones para almacenamiento de reactivos. Además de esto se necesitará un plástico de caucho dieléctrico para aislamiento con el cual se recubrirá toda la parte del mesón en la que se ubicará la fuente rectificadora incluyendo sus alrededores, el piso interior de la cabina extractora de gases y el piso del área de proceso. También se necesitará una mesa para recibo, almacenamiento temporal, revisión y entrega de material.

El espacio disponible en la planta de fabricación de la empresa para los procesos es de 3,78 m x 2,98 m y se distribuyó de la siguiente manera:

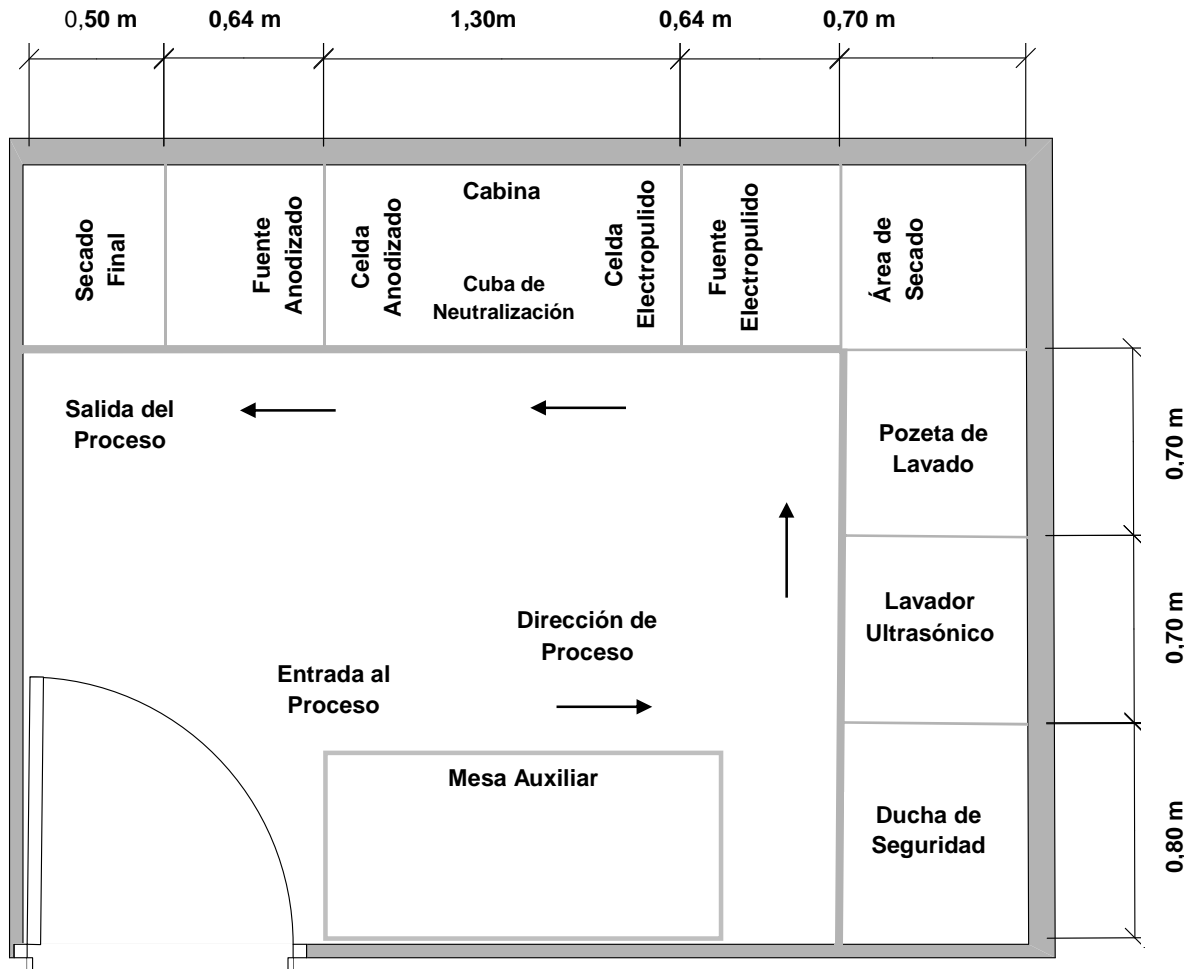


Figura 2. Distribución del espacio y dirección de flujo de los procesos de anodizado y de electropulido en la planta de producción.

En la segunda etapa los ensayos fueron realizados en las instalaciones de la planta de producción de la empresa, una vez adquirida la fuente rectificadora de DC, los materiales y reactivos con las especificaciones necesarias, se adecuaron las conexiones de la fuente, se verificó el estado de entrega de la fuente rectificadora y

se observó que el amperaje si fue el esperado, ósea hasta 50 Amperios, y el voltaje con valores máximos 17,8 Voltios. Luego se realizaron los montajes en la celda de prueba fabricada en PVC (ver Figura 4c), se ubicaron los cátodos dentro de ésta, y se preparó la cantidad de solución electrolítica necesaria para llenar la celda, para los dos procesos se utilizó la misma celda para realizar las pruebas y se realizaron los ensayos dentro de los rangos de voltaje y amperaje que la fuente permitió, es decir, de 0 a 17,8 Voltios y de 0 a 50 Amperios.

Con base en las pruebas iniciales realizadas en esta segunda etapa se determinó que la aleación de Titanio era la más propicia porque no entraba directamente a ser parte del proceso de pulido electroquímico, como ocurría con los aceros inoxidable que al final del proceso se observaba un cambio notable en su acabado superficial, y en su brillo debido a la preferencia de la corriente que fluye a través de su área superficial, es decir, los electrones entraban a la solución a través de la superficie del soporte y no a través de la superficie de la pieza de trabajo, lo que hacía que la pieza de trabajo no presentara ningún cambio apreciable en su acabado superficial y en su brillo. El soporte de Titanio se observó que cambiaba ligeramente de coloración después de terminado el proceso, probablemente intentaba anodizarse bajo las condiciones en las que se desarrollaba el electropulido, ya que el electrolito contenía ácido sulfúrico en solución.

A continuación se muestra el diseño de una de las celdas de prueba realizado en SolidWorks y las celdas utilizadas en los ensayos realizados para electropulido y para anodizado:

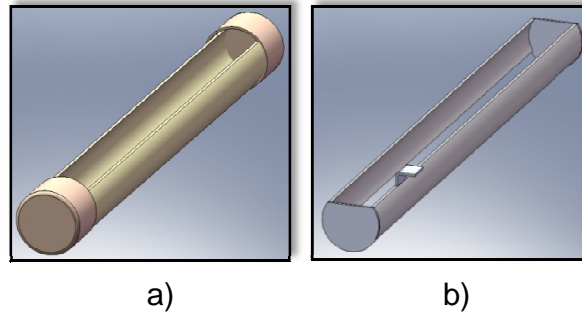


Figura 3. Diseños de la celda de prueba en PVC: a) Diseño de la celda y b) Diseño del cátodo.

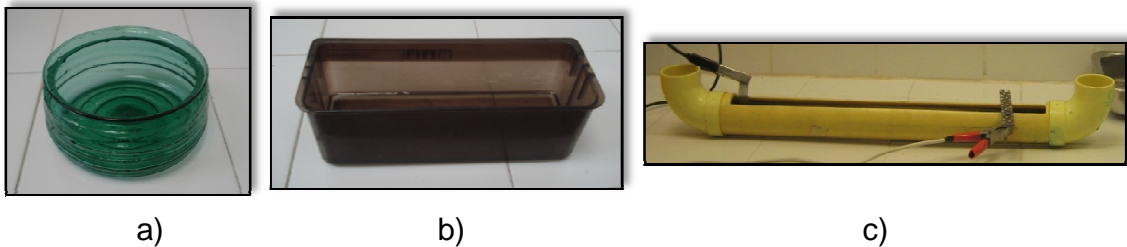


Figura 4. Celdas utilizadas: a) Celda cilíndrica de material cerámico, b).Celda rectangular de material polimérico y c) Celda cilíndrica de PVC.

En las celdas que se muestran (figura 4), se utilizaron láminas de acero inoxidable AISI 304 para elaborar el cátodo, en el caso particular de la celda de la figura 4a éste fue ubicado circunferencialmente muy cerca de las paredes del recipiente. En dicha celda se obtuvieron los mejores resultados ya que la distancia ánodo-cátodo y el área de este último es mucho mayor que las que presentan las otras celdas. Las dimensiones de esta celda de tipo cilíndrica son: 100 mm de diámetro, 100 mm de altura de material cerámico resistente al ataque por ácidos.

Para el anodizado se determinó que la aleación Ti6Al4V ELI utilizada como soporte era la más adecuada ya que presentó un buen desempeño a pesar de que también se anodizaba junto con la pieza de trabajo, por ser del mismo material, y debido a que ésta también entraba a ser parte del proceso de anodizado, sin embargo, la capa de óxido que se formaba en la superficie después de ser utilizado por primera

vez no permitía que esto volviera a suceder la siguiente vez que se realizaba el proceso bajo las mismas condiciones. Los otros materiales ensayados no presentaron buenos resultados ya que entraban a ser parte del proceso, y por su área superficial se transferían los electrones a la solución haciendo que la pieza no se anodizara correctamente. En este proceso es importante tener en cuenta que el soporte está haciendo parte del anodizado, lo que hace que el área superficial total que entra en contacto con la solución electrolítica sea considerablemente más grande. Las piezas deben al proceso de anodizado deben ingresar perfectamente pulidas, desengrasada y limpias ya que el acabado superficial de la pieza terminada dependerá de las condiciones de la pieza antes de realizar el proceso, la superficie de la pieza a anodizar no debe presentar líneas de maquinado, marcas de sujeción, rebaba, rayas y debe estar libre de grasa e impurezas.

Las dimensiones y algunas características de las celdas utilizadas se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Celda	Dimensiones [cm]	Volumen Máximo Aproximado [cm³]	Material
	Diámetro: 20 Altura: 10	3041	Vidrio
	Longitud: 27 Altura: 10 Ancho: 10	2700	Polímero desconocido
	Diámetro: 5 Longitud: 50	2890	PVC

Tabla 5. Dimensiones y características de las celdas utilizadas.

Las condiciones a las que obtuvieron los mejores resultados en la segunda etapa para el proceso de electropulido se presentan a continuación:

Tipo de Pieza	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Rango de Corriente [A]	Tiempo [min]
Tornillo Cortical	3,5	20	3,5 – 4,5	1
		30	4,8 – 6,3	
		40	6,5 – 8,0	
	4,5	20	4,8 – 6,3	
		40	8,5 – 10,0	
		60	12,0 – 13,5	
Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial	5,0	60	10,5 – 12,0	1
Tapón de Compresión Standard	M8	45	13,5 – 15,0	1
Tornillo Esponjoso	4,0	50	4,0 – 5,5	1

Tabla 6. Rangos de trabajo para el proceso de electropulido.

El diámetro de las piezas se aproximó a la dimensión estándar más cercana, para la presentación de los datos obtenidos, en cuanto a la longitud de las piezas, estuvo muy próxima a la indicada en los planos de diseño y a las especificaciones del producto final.

En la tabla 6 se puede observar las condiciones de electropulido obtenidas experimentalmente, estos resultados son para una pieza de cada tipo; las pruebas se hicieron a temperatura ambiente, sin agitación y con la siguiente composición en % en peso para la solución de electropulido: 55% de H_3PO_4 , 12% de H_2SO_4 y 33% de H_2O . Para su preparación se utilizó ácido ortofósforico al 85%, ácido sulfúrico al 96% pureza reactivo analítico y agua mineral de consumo humano.

Se obtuvo un rango de valores de corriente en el que se presentaron los mejores resultados (ver tabla 6), éstos se evaluaron mediante la observación al microscopio

a 50 aumentos, cualitativamente por experiencia de los operarios y por comparación con piezas pulidas mecánicamente, puesto que no se contaba sino con una lupa y no se tuvo acceso al equipo necesario para hacer mediciones de rugosidad y de brillo. Cuando se trabajó con tiempos cortos y a bajas corrientes se observó que la superficie de la pieza se pasivaba y perdía el poco brillo característico que tenía antes de iniciar el proceso, cuando se trabajó con corrientes altas y largos tiempos se observó que se disolvía una cantidad considerable de material haciendo que las dimensiones variaran notablemente después de terminado el proceso de electropulido.

La determinación de los rangos de trabajo para electropulido que se muestran en la tabla 6 se realizó de la siguiente manera:

Primero se determinó el área superficial aproximada de una pieza estándar por medio del software SolidWorks en el cual se encuentran los diseños de las piezas que se fabrican en la planta y se seleccionaron las que tenían las dimensiones más cercanas a éstas, luego se sometieron una por una al proceso de electropulido; la primera con unas condiciones de proceso muy próximas a las halladas teóricamente con base en la densidad de corriente que se reportaba en la bibliografía consultada y a temperatura ambiente; la siguiente a la misma temperatura y con una densidad de corriente un poco mayor que la anterior y así posteriormente hasta determinar el rango de corriente de trabajo que se reportan, los diseños se pueden observar en la figura 6.

Cabe resaltar que los resultados que se presentan son para piezas defectuosas en cuanto a tolerancia dimensional lo que quiere decir que el área de dichas piezas no está acorde con las estipuladas en los planos de diseño y no tienen las mismas propiedades físicas en cuanto a volumen y peso, ya que su tamaño no es el estándar para cada tipo de pieza, por lo tanto los resultados obtenidos pueden variar ligeramente al utilizar piezas estándar de la línea de producción, estos resultados son una muy buena aproximación al rango de corriente en el que se lleva a cabo el electropulido de dichas piezas.

En la segunda etapa del desarrollo experimental también se determinó cuales eran las condiciones en las que debían llegar las piezas al proceso de electropulido y al proceso de anodizado, se ensayó con piezas tal y como salen del proceso de maquinado en la máquina de Control Numérico Computalizado (CNC), antes de exponer la pieza a electropulido se observó que éstas presentaban rebaba, líneas de maquinado circunferencial y marcas de sujeción. Al exponerlas al proceso de electropulido se notó que dicho proceso retiraba una pequeña parte de la rebaba, que también se pulía, que las líneas de maquinado circunferencial y la marcas de sujeción no se eliminaban totalmente, por lo tanto, se determinó seguir con el proceso de desbarbado y hacer un lijado con papel abrasivo para retirar las marca de sujeción y las líneas de maquinado que presentan la piezas fabricadas en la máquina CNC.

En el caso del anodizado es muy importante hacer una limpieza y prelimpieza adecuada ya que cualquier impureza puede afectar el proceso haciendo que no se lleva a cabo o no se obtenga un acabado homogéneo. El acabado que presente el anodizado depende en gran parte del estado superficial en el que entra la pieza al proceso, es decir, si se quiere un acabado superficial basto sobre la superficie de la pieza se deberá buscar la forma de obtenerlo por medio de un tratamiento mecánico como el lijado fino o el granallado, y si por el contrario se desea un mejor acabado superficial que tenga poco rugosidad, se debe pensar en un pulido electrolítico o mecánico que permita obtener el acabado superficial establecido por el cliente.

Los resultados obtenidos en la segunda etapa para el proceso de anodizado se presentan a continuación:




Tipo de Pieza	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Rango de Voltaje [V]	Tiempo [min]	Color Obtenido
Tornillo Transpedicular	6,0	50	12,0 – 13,0	3	Dorado Oscuro 
			15,0 – 16,0	3	Marrón Rojizo 
			16,5 – 17,5	3	Morado Oscuro 

Tabla 7. Rangos de trabajo para el proceso de anodizado.

En la tabla anterior (ver tabla 7) se puede observar las condiciones de anodizado obtenidas experimentalmente, las pruebas se hicieron a temperatura ambiente, sin agitación y se utilizó una solución 1 molar de ácido sulfúrico como electrolito. Para su preparación se utilizó ácido sulfúrico al 96% y agua mineral de consumo humano. Las piezas una vez anodizadas se neutralizaron en agua caliente a una temperatura entre 60 y 70°C con el fin de realizar el proceso de sellado.

Para determinar el rango de valores se evaluó la condición final de las piezas cualitativamente, seleccionando los colores más homogéneos y estables. Cuando se trabajó con tiempos cortos se observó que el color obtenido era un poco más claro y más inestable ya que se empañaba con facilidad, y no era homogéneo debido a que el espesor de la capa de óxido producida no era lo suficientemente estable, y éste tampoco era homogéneo. Cuando se trabajó con tiempos más largos se observó que la coloración era más oscura, homogénea y estable ya que conservaba la misma tonalidad después de ser manipulada con las manos.

Los resultados que se presentan para el proceso de anodizado fueron obtenidos con base en el rango de voltaje que presentaba la fuente rectificadora de DC, es

decir, entre 0 y 17,8 voltios, por lo tanto no se abarcó toda la gamma de colores que se pueden obtener para el anodizado de la aleación de Titanio.

En la siguiente figura se muestran algunas de las piezas utilizadas en los ensayos realizados:

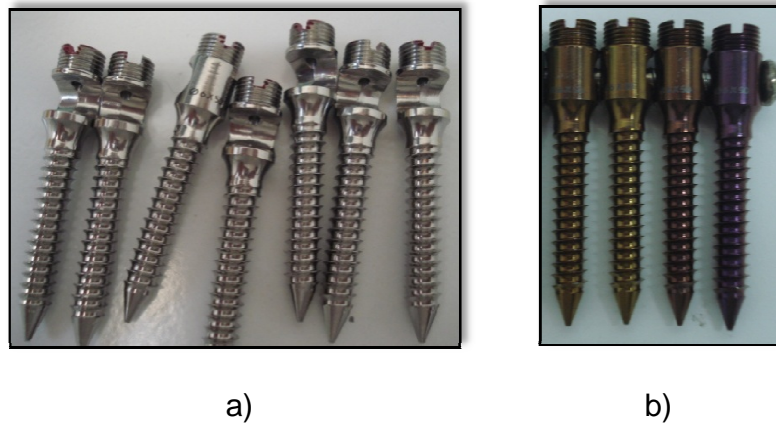


Figura 5. Tornillos Transpediculares de Ti6Al4V ELI: a) Algunos de los tornillos en su estado inicial y b) Algunos de los tornillos anodizados.

Las piezas que se muestran en la figura 5a se encuentran en el estado en el que fueron recibidas, estas piezas se sometieron a limpieza con acetona, jabón desengrasante y se secaron con aire.

A continuación se muestra el diseño de las piezas que fueron utilizadas en los ensayos, el material de Titanio utilizado como soporte y una canastilla en acero inoxidable fabricada por el autor para ser utilizada como soporte de sujeción de las piezas de trabajo durante el desarrollo experimental realizado para el presente trabajo de grado:

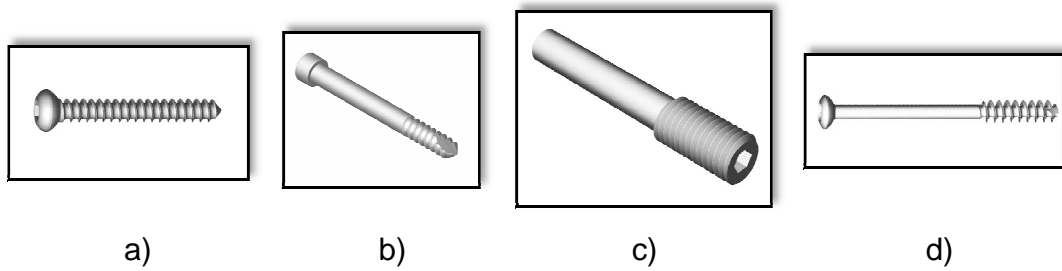


Figura 6. Diseño de las piezas utilizadas en los ensayos realizados para electropulido: a) Tornillo Cortical, b) Tornillo de Bloqueo rosca parcial, c) Tornillo de Compresión Estándar y d) Tornillo Esponjoso.ⁱ

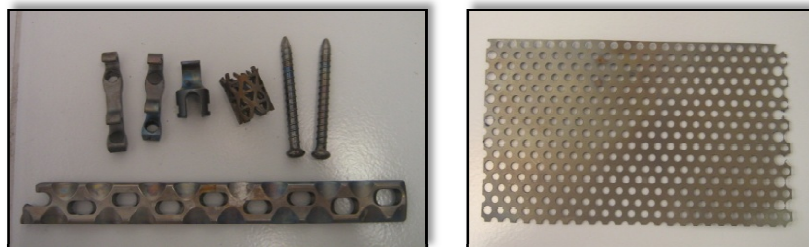


Figura 7. Piezas de Titanio utilizadas para ubicar las piezas de trabajo dentro de la solución electrolítica para electropulido y anodizado.



Figura 8. Canasta fabricada en acero inoxidable AISI 304.

ⁱFiguras tomadas del catálogo de productos y servicios de la empresa.

En la siguiente tabla se presentan algunas de las características físicas más importante para cada una de las piezas utilizadas:





Pieza	Nombre	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Volumen [mm ³]	Área Superficial [mm ²]
	Tornillo Cortical	3,5	40	256,6	576,4
		4,5	40	455,1	761,6
	Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial	5,0	60	1075,8	1096,8
	Tapón de Compresión Standard	M8	45	1395,5	1304,2
	Tornillo Esponjoso	4,0	50	124,9	335,2

Tabla 8. Propiedades Físicas de piezas estándar utilizadas en electropulido.

En tabla anterior se puede observar el área superficial de las piezas estándar como figuran en los planos de diseño y algunas especificaciones para cada una de ellas.

Al observar el rango de trabajo de cada pieza de la tabla 7 y compararlo con el área superficial de cada una de ellas de la tabla 8, se puede apreciar una relación entre estas dos características de la pieza, lo que nos podría llevar a la determinación experimental de una ecuación que permitiera obtener el rango de trabajo para cada pieza con base en el área superficial de la misma.

En las pruebas realizadas para electropulido se observó un calentamiento excesivo de las piezas de sección transversal pequeña debido a las grandes corrientes con las que se trabajaron. Se trabajó con corrientes altas para que el tiempo de proceso

fuera el mínimo, este fenómeno se puede evitar trabajando con corrientes más pequeñas y tiempos de proceso más prolongados.

Una vez realizadas la primera y segunda etapa se procedió a documentar cada proceso con el fin de elaborar los protocolos y procedimientos correspondientes (ver anexo 1 y 2), acordes a las exigencias y requerimientos de la norma NTC ISO 9001:2000 ya que la empresa se encuentra terminando el proceso certificación bajo dicha norma y todo proceso debe estar debidamente documentado.

En estos procesos electrolíticos es muy importante la forma como se sujeta la pieza ya que en los ensayos realizados para el electropulido y el anodizado se observó la formación un pequeño defecto alrededor de la zona de contacto entre la pieza y el soporte, en dicho lugar no se llevaba a cabo el proceso que se quiere realizar (anodizado o electropulido). Este defecto que se presenta en la zona de contacto se debe posiblemente a que por dicho lugar entran los electrones a la pieza y no hay un contacto directo de dicha zona con la solución electrolítica, por lo tanto esa zona no se pule electrolíticamente, o para el otro proceso, no se anodiza.

En el desarrollo de este trabajo se observó que el proceso de electropulido presenta una mayor susceptibilidad a las variaciones del área superficial, es decir, al introducir una pieza con área superficial mayor o menor se presentan grandes cambios en las condiciones finales del proceso, haciendo que se pule, que se disuelva mucho o que se pase la superficie de la pieza. En el proceso de anodizado este fenómeno no es muy notorio ya que al introducir una o varias piezas al mismo tiempo no varían las condiciones finales de la pieza, es decir, todas se anodizan uniformemente. Por lo tanto el proceso de electropulido es más sensible y más difícil de controlar, lo que hace que se tenga que ser muy riguroso a la hora de establecer las condiciones de operación adecuadas.

La mejor manera de sujetar las piezas en el caso de los tornillos es fabricar un hexágono (ver figura 8a) que entre exactamente en la cabeza hexagonal del tornillo y que sea ubicado verticalmente junto con el tornillo dentro de la solución

electrolítica por medio de un soporte para que el montaje sea fácil de realizar, esto hace que se aumente un poco el área de contacto y que el defecto que se produce en la zona de contacto quede oculto en el interior del hexágono. Otra posible solución a este problema sería dejar intencionalmente una punta en el extremo del tornillo después del maquinado para que la pieza sea sujeta de dicha punta en el proceso de electropulido, y para que no se presente el problema antes mencionado. Una vez terminado dicho proceso se desbastaría la punta y se puliría esta pequeña parte utilizando pulido mecánico. Para el caso de los clavos intramedulares se podría fabricar un dispositivo en aleación de Titanio con forma y geometría muy similar a la de un tornillo de compresión estándar, ya que se ha diseñado para enroscar en la parte posterior de dicho clavo (ver figura 8b), éste debe tener la mayor cantidad de rosca posible para que el área de contacto sea lo más grande posible.

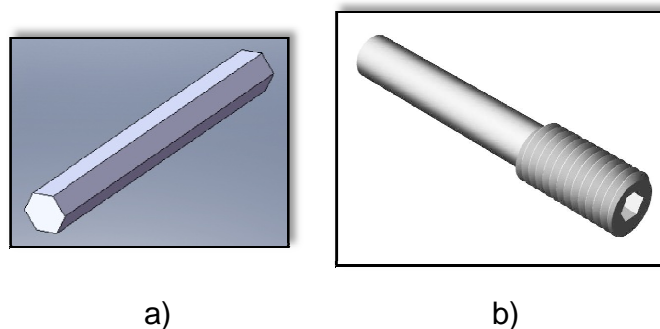


Figura 9. Diseño de soportes en Titanio para sujeción de las piezas dentro de la solución electrolítica: a) Barra hexagonal y b) Tornillo de Compresión Estándar.

10. CONCLUSIONES

- Se establecieron, desarrollaron y elaboraron por primera vez los protocolos y los procedimientos necesarios llevar a cabo cada uno de los procesos electrolíticos de anodizado y electropulido, con base en el estudio de los procesos electrolíticos de interés en este trabajo, y en los ensayos realizados durante el transcurso de esta práctica empresarial en las instalaciones de la planta de producción de la empresa Quirúrgicos Especializados S.A.
- Se logró escalar los resultados obtenidos en el GIC para el electropulido y el anodizado a escala planta piloto en la empresa Quirúrgicos Especializados S.A. para un determinado tipo de piezas entre los que se encuentran: Tornillo Cortical, Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial, Tapón de Compresión Estándar, Tornillo Esponjoso y Tornillo Transpedicular, y se establecieron unas condiciones de trabajo para las cuales las piezas que se utilizaron en los ensayos mostraron el mejor resultado. Además se estableció el tiempo del proceso y el rango de la densidad de corriente necesaria para el electropulido de 316LVM, y la magnitud del potencial para el caso del anodizado de la aleación de Ti6Al4V ELI.
- Se determinaron los equipos y las características más importantes para la implementación de cada uno de los procesos electrolíticos de interés para la empresa en la planta de fabricación.
- Se establecieron las condiciones en las cuales las piezas deben ingresar al proceso de electropulido y de anodizado para obtener resultados satisfactorios y para no contaminar la solución electrolítica que se utiliza en cada uno de los procesos.

11. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajo se recomienda:

- Determinar la metodología para el monitoreo, mantenimiento y regeneración de la solución de electropulido y de anodizado.
- Abarcar toda la gamma de espesores de capa (colores) para el proceso de anodizado de Ti6Al4V ELI que se pueden obtener cuando la producción de la empresa lo necesite.

12. BIBLIOGRAFIA

1. FEDOTIEV Y GRILIJES. Electropulido y Anodización de Metales. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1972.
2. ESPINOSA, Diana M. y JAIMES, Martha L. Tesis de grado: "Anodización de aleaciones de Titanio (Ti6Al4V), ELI, utilizados en la fabricación de implantes". Bucaramanga, Colombia 2006.
3. FUENTES, Pilar A. Y VILLAMIZAR, Lorena. Tesis de grado: "Evaluación electroquímica del estado superficial de aleaciones Ti6Al4V y acero inoxidable 316L, usadas como implantes temporales". Bucaramanga, Colombia 2006.
4. SALAZAR, Johanna. Tesis de grado: "Evaluación de la resistencia electroquímica de la aleación Ti6Al4V ASTM F136 anodizada potencioestáticamente". Bucaramanga, Colombia 2007.
5. ALBAN Morales, Soraya Indira. Tesis de grado: "Caracterización del proceso de electropulido del bronce". Guayaquil, Ecuador 1997.
6. KERRZO, Maan Aziz et al. Electrochemical studies on the stability and corrosion resistance of titanium-based implant materials, *Biomaterials*, 2000.
7. CHRZANOWSKI, W et al. Influence of the anodic oxidation on the physicochemical properties of the Ti6Al4V ELI alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005.
8. Designation ASTM F136-02. Standard Specification for Wrought Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401).

9. Designation ASTM F138-03. Standard Specification for Wrought 18 Chromium-14 Nickel-2.5 Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673).
10. Designación NTC-ISO 9001:2000. Sistemas de Gestión de Calidad. ICONTEC.
11. http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_5.html
12. http://www.fwmetals.com/specsheet_pdfs/316lvm.pdf
13. <http://www.inoxidable.com/electropulido.htm>
14. <http://www.matweb.com>

ANEXO A. Protocolo y Procedimiento de
Electropulido de Acero Inoxidable 316LVM
(Biocompatible).


 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

TABLA DE CONTROL DE MODIFICACIONES		
VERSIÓN	FECHA MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
00	28/10/2008	Emisión Inicial
DEPENDENCIA RESPONSABLE	REVISÓ	APROBÓ
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN Elaboró: Diego F. Díaz Coronado Estudiante en práctica	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN Jaime Becerra Montoya Jefe de planta	GERENTE GENERAL José G. Jaimes Román



 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE	3
3. GLOSARIO	3
4. DOCUMENTOS	5
4.1. DOCUMENTOS DEROGADOS	5
4.2. DOCUMENTOS RELACIONADOS	5
5. CONDICIONES GENERALES	5
6. DESARROLLO	6
7. CONTINGENCIAS	9
8. BIBLIOGRAFÍA: TRABAJOS UTILIZADOS COMO REFERENCIA	9
ANEXO 1: FUENTE RECTIFICADORA DE DC	11
ANEXO 2: TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO	12
ANEXO 3: TABLA DE CONDICIONES DE TRABAJO	13

 Quirúrgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN
		REVISIÓN 0

1. OBJETIVO

Establecer la metodología a seguir para el desarrollo y control del proceso de Electropulido de acero inoxidable en la planta de producción, con el fin de obtener un producto con las características de acabado superficial necesarias para cumplir con las exigencias y necesidades que requiere el Cliente, al tiempo que se cumple con las normas de seguridad, con las especificaciones de cada producto y con las expectativas del mercado, así como definir términos y herramientas comunes para aplicar esta metodología de forma unificada en Quirúrgicos Especializados S.A.

2. ALCANCE

Aplica a la producción de Implantes e Instrumentos Quirúrgicos fabricados en acero inoxidable AISI 316L y AISI 316LVM (ASTM F138-03), partiendo de las piezas que se reciben del proceso desbarbado y lijado basto con papel abrasivo 240, pasando por la revisión y limpieza previa, desengrasado, pulido electrolítico, limpieza y secado final, hasta el envío al área marcado y control de calidad.

3. GLOSARIO


El glosario de términos utilizados para la definición del presente procedimiento se presenta a continuación:

ÁNODO: Parte positiva de la fuente rectificadora de DC.

CÁTODO: Parte negativa de la fuente rectificadora de DC.

CELDA ELECTROLÍTICA: Recipiente en el cual se llevan a cabo las reacciones de los procesos electrolíticos, donde se ponen en contacto el ánodo (material a electropulir) y el cátodo, con la solución de electropulido y se suministra la corriente necesaria para pulir electroquímicamente el material.

ELECTROPULIDO: También se conoce como pulido electrolítico o pulido electroquímico. Es un proceso electrolítico en el cual el metal a electropulir es ubicado en el ánodo de la celda electrolítica, por medio de la aplicación de la corriente el metal ubicado en el ánodo se disuelve, este proceso de disolución involucra una reacción electroquímica que permite proporcionar una superficie pulida, brillante y reflexiva.

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ESTADO DE ENTREGA: Estado en el que se encuentra un material antes de inicial un proceso, es decir, el estado en el que se recibe el material para la realización de un determinado proceso.

FUENTE RECTIFICADORA DE DC: Equipo que transforma corriente alterna en corriente continua. En este proceso es el encargado de suministrar la corriente y voltaje necesario para llevar a cabo el electropulido de las piezas. (ver anexo 1: Fuente Rectificadora de DC)

PROBETA: Recipiente utilizado para medir volúmenes de líquidos. Es un cilindro de vidrio graduado que se ubica verticalmente para ser llenado con el líquido del cual se desea medir una determinada cantidad. Generalmente es fabricado en vidrio o en plásticos resistente al ataque químico por ácidos y bases fuertes. Las probetas no deben ser calentadas ya que esto produciría un error en la medición porque el material del que están fabricadas puede presentar dilatación o contracción haciendo que ésta se descalibre.

PROCESOS ELECTROLÍTICOS: Los procesos electrolíticos son aquellos en los que por medio de una corriente eléctrica se descompone una sustancia sólida en disolución para su posterior uso.


Los circuitos electrolíticos están formados por cuatro elementos básicos:

- Fuente de voltaje y corriente.
- Ánodo (parte positiva del circuito).
- Cátodo (parte negativa del circuito).
- Electrolito (medio líquido que cierra el circuito eléctrico entre ánodo y cátodo).

Los tratamientos electrolíticos de manera general se pueden resumir en tres tipos principales:

- Electropulido.
- Recubrimiento metálico electrolítico.
- Recubrimiento por oxidación electrolítica (anodizado).

El fundamento de todos ellos consiste en la introducción de las piezas metálicas en un baño compuesto por determinados productos (electrolito) y por el que, al circular una corriente eléctrica continua, produce reacciones electroquímicas controladas que consiguen variar la superficie metálica para dotarla de propiedades deseadas.

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN
		REVISIÓN 0

SECADO: Extracción de la humedad y residuos de agua de un material. Se puede realizar por medio de soplado con aire a temperatura ambiente, por medio de soplado de aire caliente o por simple calentamiento del material. Cuando se hace por calentamiento del material no es necesario elevar la temperatura por encima de 60°C.

SOLUCIÓN DE ELECTROPULIDO: La solución de electropulido está compuesta por una mezcla de ácidos fuertes, ácido fosfórico y ácido sulfúrico disueltos en agua. El volumen total de la solución esta distribuido de la siguiente forma:

- 64,71% en volumen de ácido Ortofosfórico (H₃PO₄ al 85% en peso).
- 12,50% en volumen de ácido Sulfúrico (H₂SO₄ al 96% en peso).
- 22,79% en volumen de agua (H₂O).

La preparación de la mezcla se hace midiendo el volumen correspondiente de cada sustancia en una probeta de 1000 mL y utilizando un embudo para evitar derrames, se van depositando éstos en el recipiente en donde se va a hacer la mezcla (celda de electropulido) teniendo en cuenta que primero se adicionan los ácidos y se mezclan bien, y por último se adiciona el volumen de agua que debe contener la solución de electropulido. Se debe tener en cuenta que para la preparación de la mezcla se deben utilizar guantes, la medición y mezcla se deben realizar dentro de la cabina extractora de gases. También es muy importante tener cuidado a la hora de destapar los recipientes en los que están contenidos los ácidos ya que puede haber desprendimientos de gases o vapores peligrosos. Es importante leer bien las indicaciones del fabricante antes de proceder a destapar los recipientes que contienen los ácidos necesarios para preparación de la solución de electropulido.

La composición de la solución es la siguiente:

- 55% en peso de H₃PO₄
- 12% en peso de H₂SO₄
- 33% en peso de H₂O

4. DOCUMENTOS


4.1. DOCUMENTOS DEROGADOS

Ninguno, primera edición a nivel corporativo.

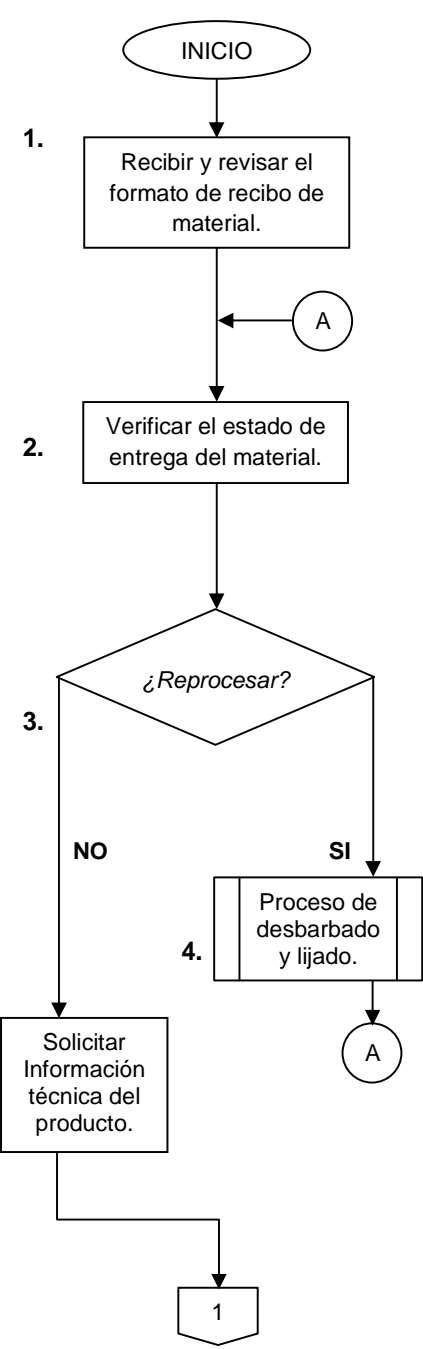
4.2. DOCUMENTOS RELACIONADOS

5. CONDICIONES GENERALES



	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

6. DESARROLLO

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
	<p>1. Revisar el formato de recibo FTPR XXX (tipo de pieza, cantidad y proceso a realizar).</p> <p>2. Verificar el estado de entrega de la pieza (admitir o rechazar según sea el caso). La pieza se debe entregar sin rebaba, sin líneas de maquinado, sin rayas profundas y sin las marcas que le producen a la pieza los soportes de sujeción de la maquina CNC.</p> <p>3. ¿Reprocesar? Se debe establecer las piezas que necesitan reproceso. NO: Pasa al numeral 6 SI: Pasa al numeral 5</p> <p>4. Determinar las causas del reproceso y devolver al proceso anterior de desbarbado y lijado. Estar pendiente de su regreso al proceso de electropulido.</p> <p>5. Solicitar al personal encargado de "dibujo" con el FTPR XXX, la tabla de propiedades físicas del producto (VER ANEXO 2) y la información técnica del mismo, plasmada en dicho plano (incluye norma técnica ASTM-Vol.13 para el caso que aplique).</p>	<p>1. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>2. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>3. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>4. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>5. Operario de procesos electrolíticos.</p>

<pre> graph TD 1{{1}} --> 6[6. Limpiar y desengrasar las piezas por ultrasonido.] 6 --> 7[7. Lavar y secar con aire caliente.] 7 --> 8[8. Determinar las condiciones de operación del proceso.] 8 --> 9[9. Ubicar las piezas dentro de la celda de electropulido.] 9 --> 10[10. Cerrar el circuito conectando las piezas al ánodo y la cuba al cátodo.] 10 --> 2{{2}} </pre>	<p>6. Limpiar y desengrasar las piezas en el lavador ultrasónico de ciclo, utilizando detergente industrial. Determinar el ciclo de acuerdo con el manual de operación del equipo MEXXX.</p> <p>7. Lavar con abundante agua para retirar el detergente y secar con aire caliente dentro de la estufa de secado durante 10 minutos a 50°C.</p> <p>8. Determinar las condiciones de proceso según la tabla de propiedades físicas para cada tipo de pieza y la tabla de condiciones de operación (ANEXO 3) con base en el área superficial de éstas, establecer la corriente necesaria, el número máximo de piezas que se pueden electropulir y el tiempo del proceso.</p> <p>9. Ubicar de las piezas dentro de la celda de electropulido de tal forma que no haya corto circuito y verificando que los contactos pieza-ánodo estén bien hechos. Esto se debe hacer con la fuente apagada o en “stand-by”.</p> <p>Nota: Se debe revisar la fecha de preparación de la solución y monitorearla para determinar si se debe regenerar o cambiar por una nueva solución de acuerdo a la composición que aparece al comienzo de éste procedimiento.</p> <p>10. Cerrar el circuito conectando las piezas al ánodo (cable rojo) y la cuba al cátodo (cable negro) de la fuente rectificadora de DC.</p>	<p>6. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>7. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>8. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>9. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>10. Operario de procesos electrolíticos.</p>
--	---	--

<pre> graph TD Start{{2}} --> 11[11. Verificar nuevamente las conexiones y ajustar las condiciones del proceso.] 11 --> 12[12. Encender y programar el tiempo en el temporizador y accionar la fuente.] 12 --> 13[13. Apagar la fuente una vez transcurrido el tiempo del proceso, retirar las piezas y neutralizarlas.] 13 --> 14[14. Limpiar y retirar la solución de electropulido de las piezas en el lavador ultrasónico.] 14 --> End{{3}} </pre>	<p>11. Verificar una vez más que no haya cortocircuito, que las conexiones estén bien hechas tanto en la fuente como en la celda, que la fuente tenga el switch #1 de selección de modo de operación en “Fuente Corriente”, el switch #2 de selección de modo de operación en “Temporizado”, y que las condiciones de operación del proceso determinadas con anterioridad sean correctas (corriente y tiempo).</p> <p>12. Encender, programar el tiempo en el temporizador y accionar el botón de inicio de la fuente.</p> <p>13. Apagar la fuente una vez transcurrido el tiempo del proceso apagar la fuente, retirar las piezas y neutralizarlas en un recipiente con agua limpia. Las piezas deben sumergirse bien y deben agitarse para retirar en su totalidad la solución de electropulido.</p> <p>14. Limpiar y retirar la solución de electropulido de las piezas en el lavador ultrasónico de ciclo, utilizando detergente industrial. Determinar el ciclo de acuerdo con el manual de operación del equipo ME00XX.</p>	<p>11. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>12. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>13. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>14. Operario de procesos electrolíticos.</p>
---	--	---

<pre> graph TD Start{{3}} --> 15[Lavar con abundante agua y secar con aire caliente.] 15 --> 16[Observar estado superficial de la pieza.] 16 --> 17[Llevar las piezas al siguiente proceso.] 17 --> End([FIN]) </pre>	<p>15. Lavar con abundante agua para retirar el detergente y secar con aire caliente dentro de la estufa de secado durante 10 minutos a 50°C.</p> <p>16. Observar por medio de una lupa el estado superficial de la pieza. Una vez terminado el lote de piezas llenar el formato de entrega FTPRXXX (determinar si hay reprocesos y realizarlos).</p> <p>17. Llevar las piezas al área de marcado y control de calidad. Entregar personalmente al operario de dicha área junto con el formato FTPRXXX.</p>	<p>15. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>16. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>17. Operario de procesos electrolíticos, operario de marcado y control de calidad.</p>
---	---	--


7. CONTINGENCIAS

No aplica.

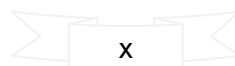
8. BIBLIOGRAFÍA: TRABAJOS UTILIZADOS COMO REFERENCIA


Los siguientes trabajos sirvieron como material de referencia para este documento.

- FUENTES, Pilar A. Y VILLAMIZAR, Lorena. Tesis de grado: “Evaluación electroquímica del estado superficial de aleaciones Ti6Al4V y acero inoxidable 316L, usadas como implantes temporales”. Bucaramanga, Colombia 2006.
- <http://www.inoxidable.com/electropulido.htm>

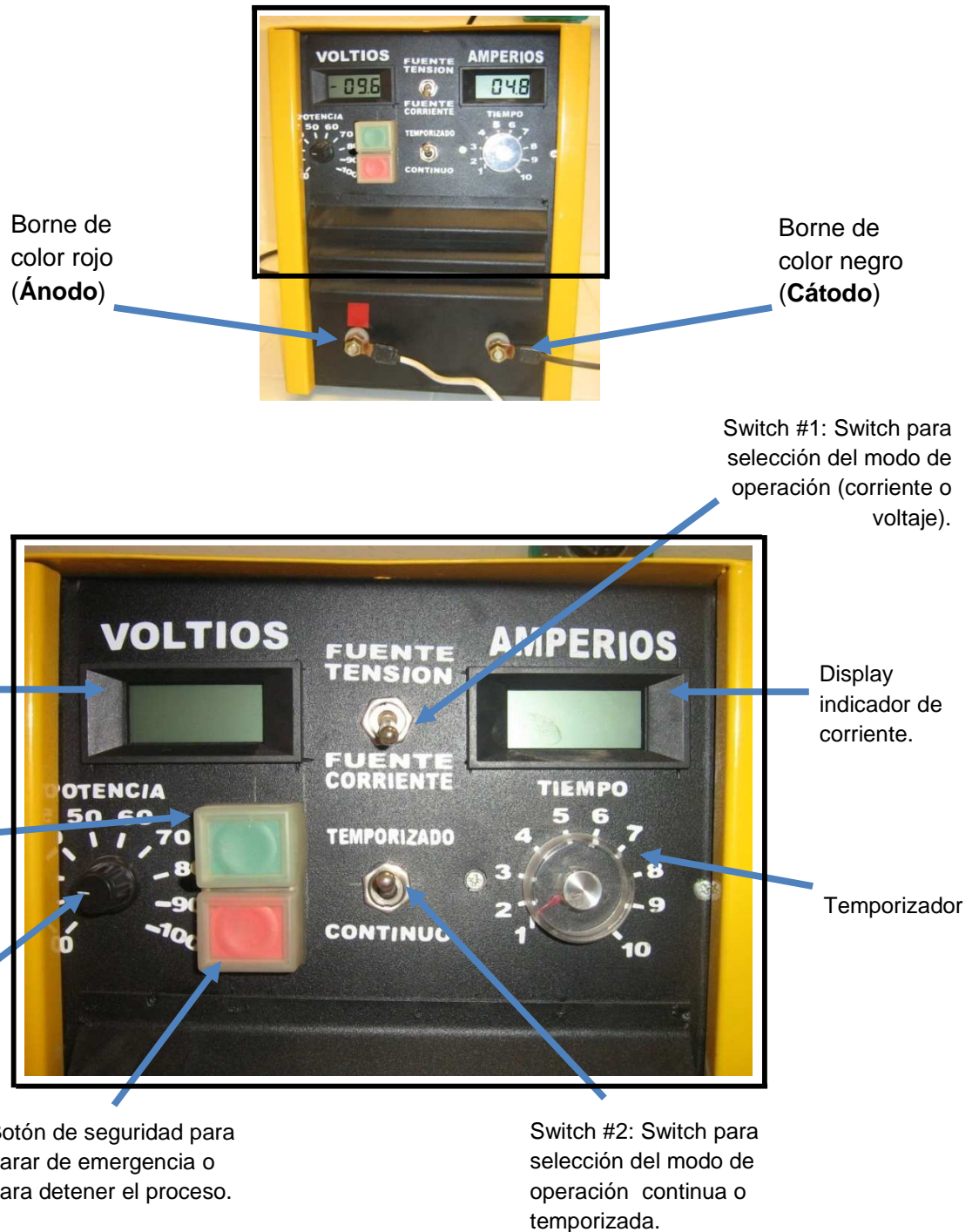
 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0


DEPARTAMENTO RESPONSABLE	SUBGERENCIA DE PRODUCCIÓN	
REVISÓ	DPTO DE PRODUCCIÓN	Jaime Becerra Montoya Jefe de producción
APROBÓ	José Gabriel Jaimes Román Gerente General	





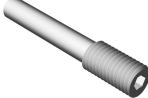

	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0


ANEXO 1: FUENTE RECTIFICADORA DE DC



 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ANEXO 2: TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO

Pieza	Nombre	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Volumen [mm ³]	Área Superficial [mm ²]
	Tornillo Cortical	3,5	40	256,6	576,4
		4,5	40	455,1	761,6
	Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial	5,0	60	1075,8	1096,8
	Tapón de Compresión Standard	M8	45	1395,5	1304,2
	Tornillo Esponjoso	4,0	50	124,9	335,2

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ELECTROPULIDO DE ACERO INOXIDABLE 316LVM (BIOCOMPATIBLE)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ANEXO 3: TABLA DE CONDICIONES DE TRABAJO

Tipo de Pieza	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Rango de Corriente [A]	Tiempo [min]
Tornillo Cortical	3,5	20	3,5 – 4,5	1
		30	4,8 – 6,3	
		40	6,5 – 8,0	
	4,5	20	4,8 – 6,3	
		40	8,5 – 10,0	
		60	12,0 – 13,5	
Tornillo de Bloqueo Rosca Parcial	5,0	60	10,5 – 12,0	1
Tapón de Compresión Standard	M8	45	13,5 – 15,0	1
Tornillo Esponjoso	4,0	50	4,0 – 5,5	1

ANEXO B. Protocolo y Procedimiento de
Anodizado de Aleaciones de Titanio
(Ti6Al4V ELI)


 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

TABLA DE CONTROL DE MODIFICACIONES		
VERSIÓN	FECHA MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN
00	28/10/2008	Emisión Inicial
DEPENDENCIA RESPONSABLE	REVISÓ	APROBÓ
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN Elaboró: Diego F. Díaz Coronado Estudiante en práctica	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN Jaime Becerra Montoya Jefe de planta	GERENTE GENERAL José G. Jaimes Román



 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE	3
3. GLOSARIO	3
4. DOCUMENTOS	5
4.1. DOCUMENTOS DEROGADOS	5
4.2. DOCUMENTOS RELACIONADOS	5
5. CONDICIONES GENERALES	5
6. DESARROLLO	6
7. CONTINGENCIAS	9
8. BIBLIOGRAFÍA: TRABAJOS UTILIZADOS COMO REFERENCIA	10
ANEXO 1: FUENTE RECTIFICADORA DE DC	12
ANEXO 2: TABLA DE CONDICIONES DE TRABAJO	13

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

1. OBJETIVO

Establecer la metodología a seguir para el desarrollo y control del proceso de Anodizado de Titanio en la planta de producción, con el fin de obtener un producto con las características de acabado superficial necesarias para cumplir con las exigencias y requerimientos del Cliente interno, al tiempo que se cumple con las normas de seguridad, con las especificaciones e cada producto y con las expectativas del mercado

2. ALCANCE

Aplica a la producción de Implantes e Instrumentos Quirúrgicos fabricados en la aleaciones de Titanio Ti6Al4V (ASTM F136-03), desde que se recibe del proceso de pulido mecánico, pasando por la revisión y limpieza previa, desengrasado, anodizado, limpieza y secado final, hasta el envío al área marcado y control de calidad.

3. GLOSARIO

El glosario de términos utilizados para la definición del presente procedimiento se presenta a continuación:


ANODIZADO: El proceso de anodizado es un tratamiento de oxidación controlada que se le efectúa a una superficie metálica, con el fin de mejorar sus características de protección y su apariencia. Este proceso consiste básicamente en obtener de manera artificial películas de óxido sobre la superficie del metal tratado, con un mayor espesor y con mejores características de protección, que las capas que se forman naturalmente en la superficie de los metales.

La capa protectora se puede obtener de dos formas, mediante procesos químicos o mediante procesos electrolíticos, en este último el oxígeno producido por la electrolisis del agua es utilizado para oxidar el ánodo.

ÁNODO: Parte positiva de la fuente rectificadora de DC.

CÁTODO: Parte negativa de la fuente rectificadora de DC.

CELDA ELECTROLÍTICA: Recipiente en el cual se llevan a cabo las reacciones de los procesos electrolíticos, dentro de ésta se ponen en contacto el ánodo (material a anodizar) y el cátodo, con la solución de anodizado y se suministra el voltaje necesario para obtener el acabado deseado.

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ESTADO DE ENTREGA: Estado en el que se encuentra un material antes de iniciar un proceso, es decir, el estado en el que se recibe el material para la realización de un determinado proceso.

FUENTE RECTIFICADORA DE DC: Equipo que transforma corriente alterna en corriente continua. En este proceso es el encargado de suministrar la corriente y voltaje necesario para realizar anodizado de las piezas.(VER ANEXO 1)

PROBETA: Recipiente utilizado para medir volúmenes de líquidos. Es un cilindro de vidrio graduado que se ubica verticalmente para ser llenado con el líquido del cual se desea medir una determinada cantidad. Generalmente es fabricado en vidrio o en plásticos resistente al ataque químico por ácidos y bases fuertes. Las probetas no deben ser calentadas ya que esto produciría un error en la medición porque el material del que están fabricadas puede presentar dilatación o contracción haciendo que ésta se descalibre.

PROCESOS ELECTROLÍTICOS: Los procesos electrolíticos son aquellos en los que por medio de una corriente eléctrica se descompone una sustancia sólida en disolución para su posterior uso.


Los circuitos electrolíticos están formados por cuatro elementos básicos:

- Fuente de voltaje y corriente.
- Ánodo (parte positiva del circuito).
- Cátodo (parte negativa del circuito).
- Electrolito (medio líquido que cierra el circuito eléctrico entre ánodo y cátodo).

Los tratamientos electrolíticos de manera general se pueden resumir en tres tipos principales:

- Electropulido.
- Recubrimiento metálico electrolítico.
- Recubrimiento por oxidación electrolítica (anodizado).

El fundamento de todos ellos consiste en la introducción de las piezas metálicas en un baño compuesto por determinados productos (electrolito) y por el que, al circular una corriente eléctrica continua, produce reacciones electroquímicas controladas que consiguen variar la superficie metálica para dotarla de propiedades deseadas.

 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

SECADO: Extracción de la humedad y residuos de agua de un material. Se puede realizar por medio de soplado con aire a temperatura ambiente, por medio de soplado de aire caliente o por simple calentamiento del material. Cuando se hace por calentamiento del material no es necesario elevar la temperatura por encima de 60°C.

SELLADO: Consiste básicamente en sumergir las piezas una vez se hayan anodizado en agua caliente con el fin de cerrar los poros que presenta la capa de óxido obtenida en la superficie del metal. El sellado se hace a una temperatura entre 80 y 85°C.

SOLUCIÓN DE ANODIZADO: La solución de anodizado está compuesta por ácido sulfúrico disuelto en agua. La composición de dicha solución es de 1 molar. La preparación de la mezcla se hace midiendo el volumen correspondiente de cada sustancia en una probeta de 1000 mL y utilizando un embudo para evitar derrames, se van depositando éstos en el recipiente en donde se va a hacer la mezcla (celda de anodizado) teniendo en cuenta que primero se adiciona el agua, luego el ácido y se mezcla bien la solución para homogeneizarla. Se debe tener en cuenta que para la preparación de la mezcla se deben utilizar guantes, la medición y mezcla se deben realizar dentro de la cabina extractora de gases.

También es muy importante tener cuidado a la hora de destapar el recipiente en el que está contenido el ácido ya que puede haber desprendimiento de gases o vapores peligrosos. Es importante leer bien las indicaciones del fabricante antes de proceder a destapar el recipiente en el que está contenido el ácido necesario para la preparación de la solución de anodizado.


4. DOCUMENTOS

4.1. DOCUMENTOS DEROGADOS

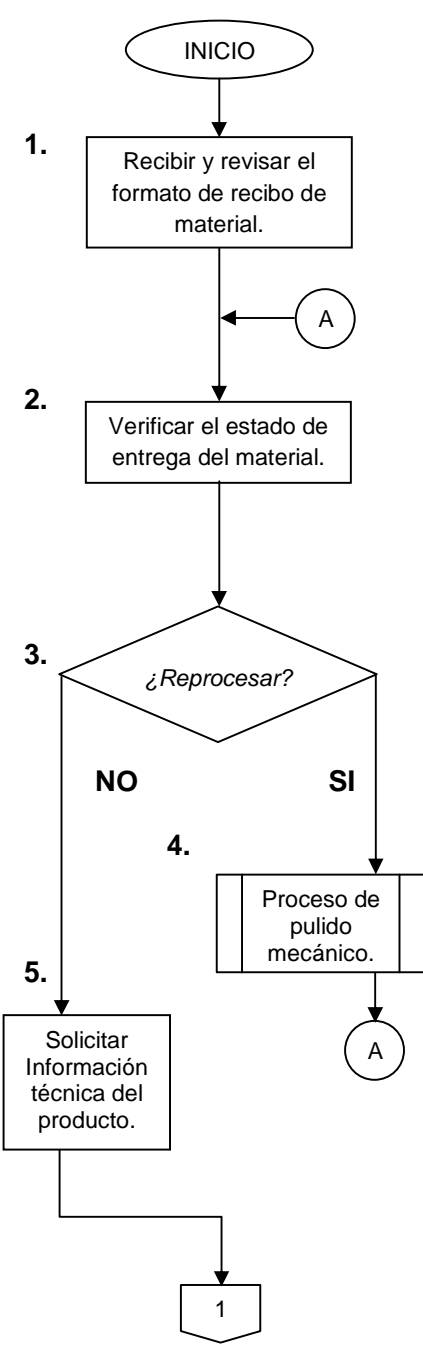
Ninguno, primera edición a nivel corporativo.

4.2. DOCUMENTOS RELACIONADOS

5. CONDICIONES GENERALES

	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

6. DESARROLLO

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
	<p>1. Revisar el formato de recibo FTPR XXX (tipo de pieza, cantidad y proceso a realizar).</p> <p>2. Verificar el estado de entrega de la pieza (admitir o rechazar según sea el caso). La pieza se debe entregar sin rebaba, sin líneas de maquinado y sin rayas.</p> <p>3. ¿Reprocesar? Se debe establecer las piezas que necesitan reproceso. NO: Pasa al numeral 6 SI: Pasa al numeral 5</p> <p>4. Determinar las causas del reproceso y devolver al proceso anterior de pulido mecánico. Estar pendiente de su regreso al proceso de anodizado.</p> <p>5. Solicitar al personal encargado de “dibujo” con el FTPR XXX, la información técnica del mismo, plasmada en dicho plano (incluye norma técnica ASTM-Vol.13 para el caso que aplique).</p>	<p>1. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>2. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>3. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>4. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>5. Operario de procesos electrolíticos.</p>


<pre> graph TD 1{{1}} --> 6[6. Limpiar y desengrasar las piezas por ultrasonido.] 6 --> 7[7. Lavar y secar con aire caliente.] 7 --> 8[8. Determinar las condiciones de operación del proceso.] 8 --> 9[9. Ubicar las piezas dentro de la celda de anodizado.] 9 --> 10[10. Cerrar el circuito conectando las piezas al ánodo y la cuba al cátodo.] 10 --> 2{{2}} </pre>	<p>6. Limpiar y desengrasar las piezas en el lavador ultrasónico de ciclo, utilizando detergente industrial. Determinar el ciclo de acuerdo con el manual de operación del equipo ME00XX.</p> <p>7. Lavar con abundante agua para retirar el detergente y secar con aire caliente dentro de la estufa de secado durante 10 minutos a 50°C.</p> <p>8. Determinar las condiciones de proceso según la tabla de condiciones de operación (ANEXO 2) con base en el color, características finales del producto y el número máximo de piezas que se pueden anodizar, seleccionar el tiempo y el voltaje necesario para realizar el proceso.</p> <p>9. Ubicar de las piezas dentro de la celda de anodizado de tal forma que no haya corto circuito y verificando que los contactos pieza-ánodo estén bien hechos. Esto se debe hacer con la fuente apagada o en “stand-by”.</p> <p>Nota: Se debe revisar la fecha de preparación de la solución y monitorearla para determinar si se debe regenerar o cambiar por una nueva solución de acuerdo a la composición que debe tener la solución de anodizado.</p> <p>10. Cerrar el circuito conectando las piezas al ánodo (cable rojo) y la cuba al cátodo (cable negro) de la fuente rectificadora de DC.</p>	<p>6. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>7. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>8. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>9. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>10. Operario de procesos electrolíticos.</p>
--	---	--

<pre> graph TD Start{{2}} --> 11[11. Verificar nuevamente las conexiones y ajustar las condiciones del proceso.] 11 --> 12[12. Encender y programar el tiempo en el temporizador y accionar la fuente.] 12 --> 13[13. Apagar la fuente una vez transcurrido el tiempo del proceso, retirar las piezas y neutralizarlas.] 13 --> 14[14. Limpiar y retirar la solución de anodizado de las piezas en el lavador ultrasónico.] 14 --> End{{3}} </pre>	<p>11. Verificar una vez más que no haya cortocircuito, que las conexiones estén bien hechas tanto en la fuente como en la celda, que la fuente tenga el switch #1 de selección de modo de operación en “Fuente Tensión”, el switch #2 de selección de modo de operación en “Temporizado”, y que las condiciones de operación del proceso determinadas con anterioridad sean correctas (voltaje y tiempo).</p> <p>12. Encender, programar el tiempo en el temporizador y accionar el botón de inicio de la fuente.</p> <p>13. Apagar la fuente una vez transcurrido el tiempo del proceso apagar la fuente, retirar las piezas y neutralizarlas y realizar el proceso de sellado en un recipiente con agua caliente con una temperatura entre 80 y 85° C por 3 minutos. Las piezas deben sumergirse bien y deben agitarse para retirar en su totalidad la solución de anodizado.</p> <p>14. Limpiar y retirar la solución de anodizado de las piezas en el lavador ultrasónico de ciclo, utilizando detergente industrial. Determinar el ciclo de acuerdo con el manual de operación del equipo ME00XX.</p>	<p>11. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>12. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>13. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>14. Operario de procesos electrolíticos.</p>
---	--	---

<pre> graph TD Start{{3}} --> 15[Lavar con abundante agua y secar con aire caliente.] 15 --> 16[Observar estado superficial de la pieza.] 16 --> 17[Llevar las piezas al siguiente proceso.] 17 --> End([FIN]) </pre>	<p>15. Lavar con abundante agua para retirar el detergente y secar con aire caliente dentro de la estufa de secado durante 10 minutos a 50°C.</p> <p>16. Observar por medio de una lupa el estado superficial de la pieza. Una vez terminado el lote de piezas llenar el formato de entrega FTPRXXX (determinar si hay reprocesos y realizarlos).</p> <p>17. Llevar las piezas al área de marcado y control de calidad. Entregar personalmente al operario de dicha área junto con el formato FTPRXXX.</p>	<p>15. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>16. Operario de procesos electrolíticos.</p> <p>17. Operario de procesos electrolíticos, operario de marcado y control de calidad.</p>
---	---	--

7. CONTINGENCIAS

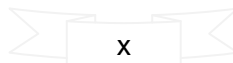
No aplica.


 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

8. BIBLIOGRAFÍA: TRABAJOS UTILIZADOS COMO REFERENCIA


Los siguientes trabajos sirvieron como material de referencia para este documento.

- ESPINOSA, Diana M. y JAIMES, Martha L. Tesis de grado: “Anodización de aleaciones de Titanio (Ti6Al4V), ELI, utilizados en la fabricación de implantes”. Bucaramanga, Colombia 2006.
- SALAZAR, Johanna. Tesis de grado: “Evaluación de la resistencia electroquímica de la aleación Ti6Al4V ASTM F136 anodizada potencioestáticamente”. Bucaramanga, Colombia 2007.

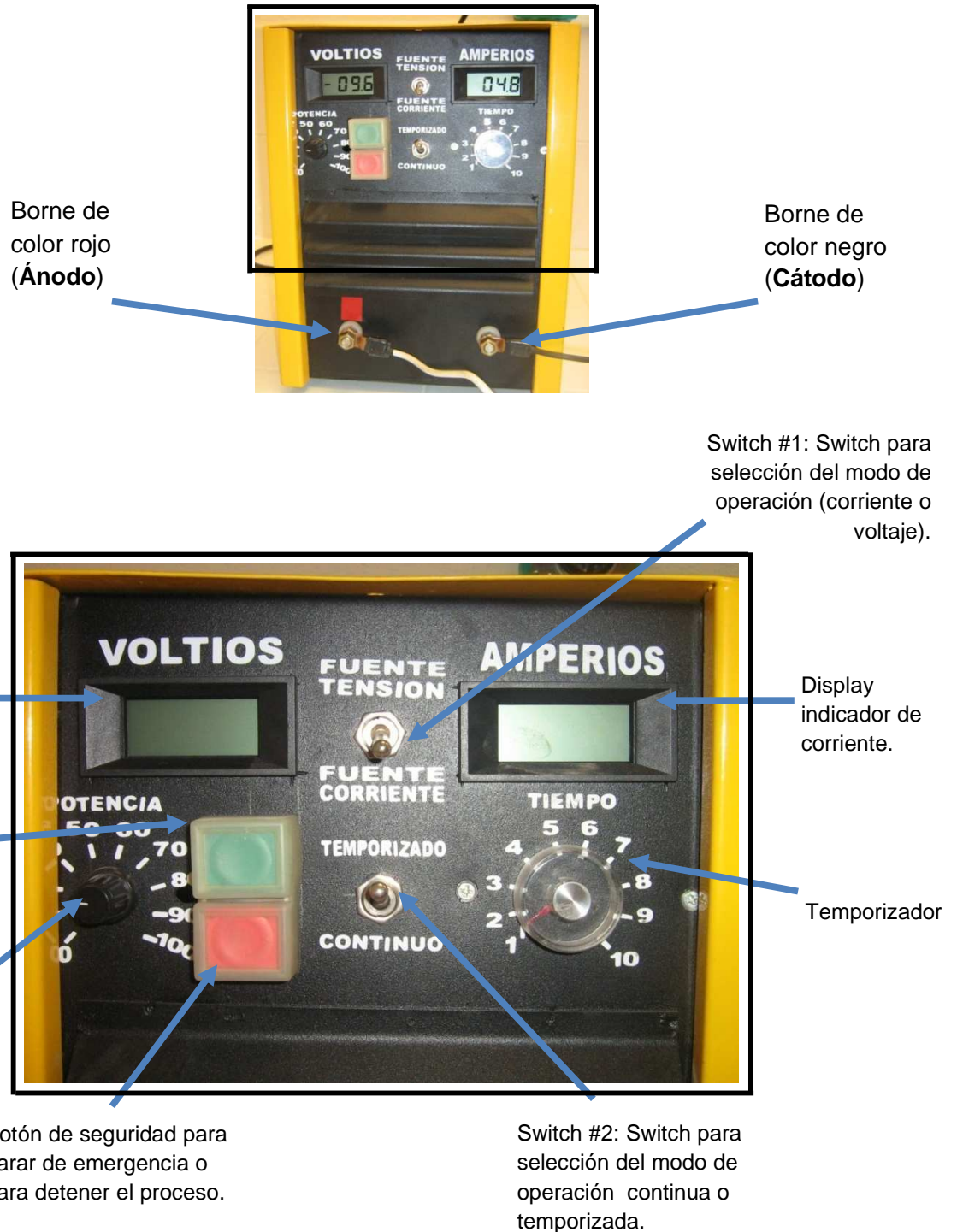



 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

DEPARTAMENTO RESPONSABLE	SUBGERENCIA DE PRODUCCIÓN	
REVISÓ	DPTO DE PRODUCCIÓN	Jaime Becerra Montoya Jefe de producción
APROBÓ	José Gabriel Jaimes Román Gerente General	



	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ANEXO 1: FUENTE RECTIFICADORA DE DC



 Quirurgicos Especializados S.A.	PROCEDIMIENTO DE ANODIZADO DE ALEACIONES DE TITANIO (Ti6Al4V)	CÓDIGO	PR-PR-00
	PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	
		REVISIÓN	0

ANEXO 2: TABLAS DE CONDICIONES DE TRABAJO

Tipo de Pieza	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Rango de Voltaje [V]	Tiempo [min]	Color Obtenido
Tornillo Transpedicular	6,0	50	12,0 – 13,0	3	Dorado Oscuro 
			15,0 – 16,0	3	Marrón Rojizo 
			16,5 – 17,5	3	Morado Oscuro 